



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
EKONOMICKÁ FAKULTA

KATEDRA SYSTÉMOVÉHO INŽENÝRSTVÍ

Vytvoření ekologicko-ekonomického modelu průmyslové společnosti  
Creation Of the Ecologic-Economical Model for an Industrial Company

Student: Bc. František Zapletal

Vedoucí diplomové práce: Dr. Ing. Jiří Chuchro

Ostrava 2011



Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem přitom jen uvedených zdrojů.

V Ostravě 29. dubna 2011

.....

Podpis

Chtěl bych zde poděkovat vedoucímu mé práce Dr. Ing. Jiřímu Chuchrovi za odborné konzultace a rady při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat vedení firmy XYZ za poskytnutí potřebných údajů k realizaci a ověření cílového modelu.

# Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Ekologicko-ekonomické modelování.....	9
2.1	Ekologická a ekonomická efektivnost.....	9
2.1.1	Ochrana životního prostředí .....	9
2.1.2	Odpad .....	10
2.1.3	Ekologie.....	11
2.1.4	Předpisy a organizace týkající se životního prostředí a jeho ochrany.....	12
2.1.5	Ekonomický růst.....	13
2.1.6	Efektivnost.....	13
2.1.7	Externality .....	15
2.2	Operační výzkum a jeho metody .....	16
2.2.1	Klasifikace modelů.....	17
2.2.2	Metodika aplikace operačního výzkumu.....	18
2.2.3	Metody operačního výzkumu .....	19
2.2.3.1	Strukturní analýza .....	20
2.2.3.2	Matematické programování.....	24
2.3	Klasifikace nejvýznamnějších škodlivých emisních látek .....	28
3.	Tvorba ekologicko-ekonomického modelu.....	31
3.1	Strukturní model.....	31
3.2	Strukturní model v naturálních jednotkách .....	34
3.2.1	Strukturní model v peněžních jednotkách .....	35
3.2.2	Implementace strukturního modelu v MS Excel.....	37
3.3	Optimalizační model lineárního programování.....	46
3.3.1	Implementace optimalizačního modelu v MS Excel.....	49
4.	Ověření modelu na datech konkrétní společnosti .....	55
4.1	Implementace modelu na podnik XYZ .....	55

4.2	Výsledky implementace modelu na podnik XYZ .....	56
5.	Zhodnocení výsledků vypracovaného modelu .....	58
6.	Závěr.....	60
	Použitá literatura .....	61
	Seznam vysvětlivek a zkratk	
	Seznam příloh	

# 1. Úvod

Ačkoli nám každé učebnice a skripta podnikové ekonomiky a oborů jí příbuzných nabízejí sáhodlouhý výčet položek charakterizujících cíle podniku, vždy mezi nimi bude mít výsadní postavení jeden – maximalizace zisku. Najít vlastníka, ředitele společnosti, popř. vrcholového manažera, který by byl nespokojený při pohledu na výkaz zisků a ztrát, který dokazuje, že zisk firmy oproti minulým letům prudce stoupl, by bylo velmi obtížné. Pochopitelně se od strategie firmy odvíjejí cíle další – druhotné. Způsoby, jak dosáhnout zvýšení zisku jsou dva – buďto zvýšíme výnosy nebo snížíme náklady. Já se ve své práci budu zabývat druhou zmíněnou možností.

Účelem této práce je optimalizovat ekologické náklady firmy tak, aby maximalizovala svůj zisk. Zvláště u velkých výrobních průmyslových podniků je tento druh nákladů velmi významný a nevěnuje se mu bohužel dostatek pozornosti. Navíc zmíněná optimalizace nebude mít přínos pouze pro podnik, ve kterém se bude uplatňovat, ale také pro jeho okolí – zvláště životní prostředí a obyvatelstvo, které působením různých forem znečištění trpí.

Mým cílem je zkonstruovat ekologicko-ekonomický model pro průmyslovou společnost, který následně otestuji na reálných datech vybraného hutního podniku. Výsledný model by měl sloužit jako podklad pro rozhodování kompetentních osob a měl by umožnit:

- analyzovat a zhodnotit ekologickou i ekonomickou náročnost jednotlivých výrobních oborů
- optimalizovat objem výroby jednotlivých výrobních oborů vzhledem k jejich eko-eko náročnosti
- zlepšit alokaci investic do strojů a zařízení, které by vykazovaly nižší ekologické náklady
- nalezení kompromisního řešení mezi ekologickými náklady a ekonomickými příjmy z výroby



## 2. Ekologicko-ekonomické modelování

Eko-eko modelování se zabývá tvorbou modelů zahrnujících ekologické i ekonomické charakteristiky, a které se dají v praxi využít jak pro popis a pochopení fungování systému, tak pro zefektivnění procesů probíhajících uvnitř tohoto systému.

Eko-eko charakteristikami systému definovaného na uvažovaném objektu se rozumí data, respektive údaje k popisu průniku ekologických a ekonomických jevů, událostí, procesů a skutečností, tvořících společné rozhraní vybraných systémů výroby a péče o přírodní zdroje a životní prostředí s vybranými přírodními složkami a ekologickými soustavami příslušných částí biosféry [5].

Předmětem eko-eko analýz a optimalizací jsou tedy vybrané eko-eko charakteristiky uvažovaného objektu a závislosti mezi nimi. Než však přistoupím k výběru samotných charakteristik a k následné konstrukci modelu, je nezbytné se podívat na ekologické i ekonomické pozadí problematiky a zvolit vhodný postup, metody a techniky pro tvorbu cílového modelu.

### 2.1 Ekologická a ekonomická efektivnost

#### 2.1.1 Ochrana životního prostředí

Příroda – původce všech surovin a nezbytná podmínka života na naší planetě. Tento složitý systém se všemi svými živými i neživými složkami vytváří dokonalé podmínky k životu všech živočišným i rostlinným druhů od nejprimitivnějších nebuněčných organismů, až po vrchol evolučního vývoje – člověka. Každý z nás už od mala dostává ze svého okolí informace o tom, jak moc je pro nás příroda nezbytná, a že je naší povinností ji chránit. Bohužel realita je taková, že lidský faktor naše přirozené prostředí stále více mění a devastuje.

Příroda jako celek je složena z mnoha ekosystémů (subsystémů biosféry), které jsou ve vzájemné úzké interakci. Tyto vazby jsou velmi složité a jsou po tisíce až miliony let formovány. Celá biosféra je systém, který má schopnost autoregulace – je přizpůsobena tak, aby dokázala reagovat na působící vlivy zevnitř i z vnějšku a udržoval se v tzv. dynamické rovnováze<sup>1</sup>. Tato schopnost však zdaleka není neomezená a člověk by si tuto skutečnost měl co nejdříve uvědomit. Množství produkovaných odpadů výrazně převyšuje samoregulační schopnost ekosystémů a důsledky se začínají postupně projevovat.

---

<sup>1</sup> Dynamická rovnováha je optimální stav, v němž dynamický systém dobře funguje nebo se rozvíjí [13]

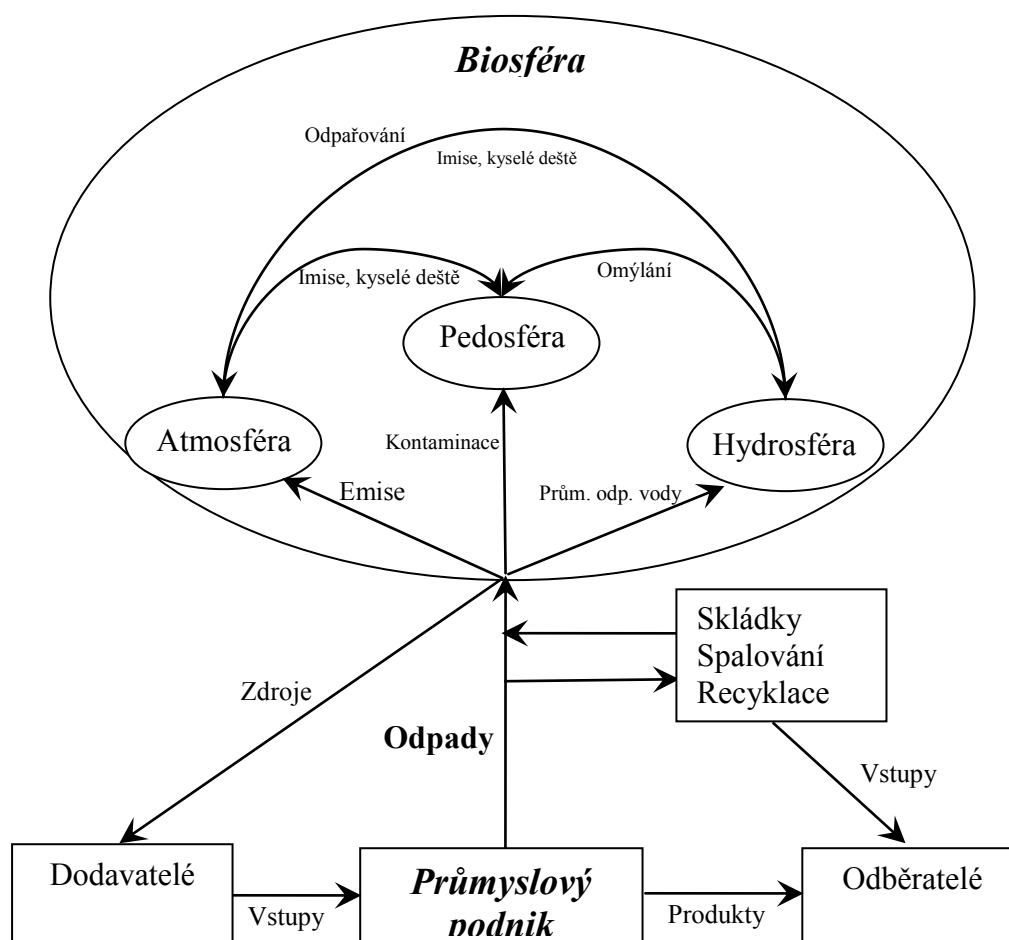
Půdy, vodní zdroje i ovzduší (neživé složky přírody) jsou stále více znečišťovány a mají za následek mnohdy drastické zásahy do soustav živých organismů. Mnoho živých druhů již vyhynulo, některé tato smutná skutečnost čeká v blízké době. Důsledky takových ekologických katastrof však mohou být daleko rozsáhlejší, než jsme si schopni představit. Stačí využít systémového přístupu a uvědomit si komplex přímých i zpětných vazeb, které v biosféře existují. Jde o výjimečně propracovaný mechanismus, ve kterém má každý prvek svou nezastupitelnou roli a ovlivňuje existenci prvků okolních. Narušením byť jen jedné vazby může dojít k řetězové reakci a k následnému poškození nebo dokonce zániku celých ekosystémů. Tudíž je z hlediska budoucího vývoje naší planety doslova životní nutností nastolený trend v nakládání s přírodou okolo nás co možná nejdříve změnit. Mezi další neblahé účinky narůstajícího objemu produkovaných škodlivin patří dále např. děsivý nárůst výskytu tzv. civilizačních onemocnění, na kterém se významně podílí také špatná kvalita ovzduší a půd (kromě sociálního hlediska zde musíme vidět i pohled ekonomů, kteří poukazují na enormní sumy vynakládané státy na léčbu těchto chorob), nebo třeba mezi odborníky a v médiích tolik diskutované globální oteplování.

Nad těmito výstrahami by se zejména měly zamyslet na jedné straně právní subjekty, které jsou významnými producenty odpadů a na té druhé orgány, které mají možnost tyto subjekty regulovat (zejména vláda a významné mezinárodní organizace).

### **2.1.2 Odpad**

Odpad z pohledu výrobní firmy můžeme definovat jako výstup výrobního procesu, jehož užitná hodnota je menší nebo rovna nule [14]. Většina odpadů a exhalací mají užitnou hodnotu menší než nula (náklady s ní spojené převyšují potenciální přínos) – z ekonomického pohledu se jedná o negativní externalitu (podrobněji viz kapitola 2.1.7).

**Obrázek 2.1 - Schéma infiltrace odpadů do biosféry**



### 2.1.3 Ekologie

Zde se na chvíli pozastavím nad pojmem “ekologie”. Je zapotřebí uvést na pravou míru omyl, který se v poslední době značně rozšířil. Ekologie je definována jako věda zabývající se vztahy mezi organismy stejného druhu, organismy jiných druhů a jejich životního prostředí” [4]. Vztah mezi člověkem a organismy jiných druhů pak zkoumá oblast ekologie, kterou nazýváme “ekologie člověka”. S těmito definicemi se však rozhodně neslučuje používání slov typu ekologický, ekologičnost apod., jako vyjádření skutečnosti, že je něco nebo někdo, šetrný k životnímu prostředí. Tuto deformaci významu lze přičítat pravděpodobně masovému užívání tohoto slova a s ním související částečnou profanací jeho významu.

## **2.1.4 Předpisy a organizace týkající se životního prostředí a jeho ochrany**

a) Vládní organizace a zákony:

- Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP ČR) – je od 1.1.1990 ústředním orgánem státní správy a orgánem vrchního dozoru ve věcech životního prostředí. V roce 1992 byl schválen a vstoupil v platnost Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů. V roce 2007 vytvořilo MŽP „Operační program životního prostředí“, který může vyčerpat z fondů EU (Fondů soudržnosti a Evropského fondu pro regionální rozvoj) až 5 mld. euro.
- Česká informační agentura životního prostředí (CENIA) – CENIA je státní příspěvková organizace MŽP ČR která slouží k poskytování široké škály informací týkajících se životního prostředí jak fyzickým, tak i právnickým osobám. V roce 2005 byla ministerstvem vytvořena z dřívější CEU (Českého ekologického ústavu).

b) Nevládní organizace, programy a dohody týkající se ochrany životního prostředí:

Organizací zabývajících se ochranou životního prostředí je celá řada a ještě daleko větší počet je dohod a deklarací, které tyto organizace vydaly. Pro ukázkou jsem vybral pouze ty nejznámější a nejvýznamnější z nich:

- Evropská agentura životního prostředí (EEA – European Environment Agency) – je obdobou české organizace CENIA na evropské úrovni.
- Evropská unie (EU) – umožňuje členským státům čerpat finance na ochranu životního prostředí ze svých fondů.
- Organizace spojených národů (OSN) – vytvořila v roce 1972 program na ochranu životního prostředí UNEP (United Nations Environment Programme) Posláním UNEPu je stimulovat a koordinovat akce na ochranu životního prostředí především na mezinárodní úrovni a poskytovat podklady pro rozhodování příznivé životnímu prostředí. UNEP stál za vznikem mnoha mezinárodních dohod a smluv. Mezi nejznámější z nich jsou např. Bonnská nebo Stockholmská dohoda. V roce 1997 vznikla Rámcová úmluva OSN o klimatických změnách, k níž se váže snad nejmdializovanější smlouva týkající se životního prostředí, a sice tzv. Kjótský protokol.
- Evropská hospodářská komise OSN (EEC - European economic commission) – zakladatel organizace EEA a informačního systému pro životní prostředí EIONET (Evropská síť environmentálních informací a pozorování).

- Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD) – v roce 2009 v Paříži připravila a schválila tzv. „Deklaraci zeleného růstu“, která vyzývá členské státy, aby se soustředily na intenzivní ekonomický růst (viz. kapitola 2.1.5) a snižovaly zátěž životního prostředí.

### 2.1.5 Ekonomický růst

Ekonomický růst je makroekonomická veličina, která vyjadřuje růst potenciálního produktu v čase [6]. Tento ukazatel je velmi důležitý a společně s ekonomickým cyklem nám podává hrubý nástin toho, jak na tom tuzemská ekonomika v danou chvíli je a jakým směrem se bude s největší pravděpodobností v nejbližší budoucnosti ubírat.

Ekonomický růst může být dvojího druhu [6]:

- 1) Extenzivní ekonomický růst – je zapříčiněn růstem vstupů výrobních faktorů, jako jsou práce, kapitál, půda nebo přírodní zdroje. Tento druh růstu je relativně snáze dosažitelný, nicméně přináší s sebou také spoustu problémů. Tyto zdroje nemohou růst donekonečna. Je zřejmé, že jednou přijde doba, kdy už nebude odkud brát. Navíc průmyslové využívání půdy a přírodních zdrojů vede v drtivé většině případů k nevratným změnám a ztrátám a jen málokdy se kladně podepisuje na rázu krajiny a životním prostředí. Proto by čerpání takovýchto neobnovitelných zdrojů mělo být prováděno s pečlivým rozmyslem a firmy by měly být (ať už zvenku nebo zevnitř) „tlačeny“ spíše k intenzivnímu růstu, jako se tomu děje ve vyspělých zemích.
- 2) Intenzivní ekonomický růst – je zapříčiněn růstem produktivity výrobních faktorů. Růst produktivity práce, účinnosti kapitálu, pokles materiálové náročnosti (alternativních zdrojů) vede při totožném objemu vstupů k vyššímu produktu. Avšak i zde je třeba dávat si pozor na vedlejší účinky a to zejména na sociální a ekologické faktory.

### 2.1.6 Efektivnost

Už v každém základním kurzu ekonomie nebo managementu se neustále omílá slovo „efektivnost“. Každý alespoň trochu znalý a zodpovědný vedoucí pracovník (v osobním životě to lze rozšířit obecně na všechny lidi obecně) se snaží minimalizovat náklady a naopak maximalizovat užitek (neboli jinak řečeno při minimu vstupů vyprodukovat největší možný výstup). To si hlavně v období hospodářské krize v minulých letech uvědomila spousta firem a náklady krátily opravdu důkladně. Platí jednoduchý vzorec [7]:

$$efektivnost = \frac{celkové\_výnosy\_firmy}{celkové\_náklady\_firmy}$$

Je však důležité si uvědomit, že efektivnost je třeba udržovat nejen v oblasti výroby a podnikání, ale také jinde. Kromě ekonomické efektivnosti máme také např. efektivnost ekologickou nebo sociální a ty by rozhodně neměly být opomíjeny. Vzhledem k zaměření této práce nás budou zajímat zejména ekologické aspekty efektivnosti. Přestože se stát a různé vlivné mezinárodní organizace snaží o to, aby bylo životní prostředí alespoň nějak chráněno před permanentním poškozováním ze strany ziskuchtivých podniků, jen stěží mohou vydané zákony, nařízení či následné pokuty (a to i za předpokladu, že by byly striktně dodržovány a vymáhány) pokrýt náklady, které vzniknou životnímu prostředí působením např. gigantických průmyslových společností (lze předpokládat, že právě tyto firmy se budou nejvíce podílet na poškozování životního prostředí). To znamená, že část nákladů, jejichž původcem je takováto firma, je nespravedlivě převáděna na jiné subjekty a vzniká tak tedy negativní externalita (viz Obrázek 2.2).

Zahrnutím celkových společenských nákladů do vzorce jsme schopni postihnout náklady, které z výroby vzešly a nejsou pokryty vyrábějící firmou [7]:

$$míra\_efektivnosti = \frac{STU}{STC}$$

STU = celkový společenský užitek z dané činnosti (social total utility)

STC = celkové společenské náklady na danou činnost (social total costs)

Oproti podnikovým explicitním (účetně zaznamenaným) nákladům mají ekologické efekty značnou nevýhodu – kvantifikovat je může být problém. Nabízí se několik způsobů, jak k němu přistupovat:

- 1) Vyjádření negativního ekologického efektu ve finančních jednotkách jako náklady, které musíme vynaložit, abychom vzniklým škodám zabránili, popř. abychom je odstranili.
- 2) Vyjádření efektu pomocí naturálních jednotek (např. metry krychlové skleníkového plynu).
- 3) Využití ordinální stupnice (sestavení např. pomocí párového srovnání). Zde je značnou nevýhodou zejména subjektivita vyjádření. K této variantě zpravidla

přístupujeme až ve chvíli, kdy není možné (nebo je neúměrně nákladné) získat potřebná data pro první dvě varianty.

### 2.1.7 Externality

Externality jsou jedny z tržních selhání, které vyjadřují vztahy mezi subjekty na trhu (ať už jde o firmy nebo spotřebitele), které nejsou adekvátně zachyceny tržními cenami [2]. Jde o činnosti, které přináší nezaviněný náklad (negativní externalita) nebo prospěch (pozitivní externalita) i jinému subjektu, než tomu, který činnost vykonává.

Ačkoli ekonomicky neefektivní jsou oba typy externalit, více diskuzí a problémů vyvolávají jednoznačně ty negativní, které jsou také podstatně častější. Navíc pro náš účel, ve vztahu k životnímu prostředí, se s pozitivním externím efektem setkáme jen opravdu výjimečně. Daleko více nás pochopitelně musí zajímat znečištění ovzduší, půdy a vod, které někdo zapříčinil ve své touze minimalizovat své náklady, popř. maximalizovat zisk.

**Podmínky efektivity [7]:**

$$SMC=SMU$$

$$SMC=MC$$

$$SMU=MU$$

SMC = social marginal costs (společenské mezní náklady na danou činnost) -

SMU = social marginal utility (společenský mezní užitek z dané činnosti)

MC = marginal costs (mezní náklady na danou činnost subjektu, který ji vykonává)

MU = marginal utility (mezní užitek z dané činnosti subjektu, který ji vykonává)

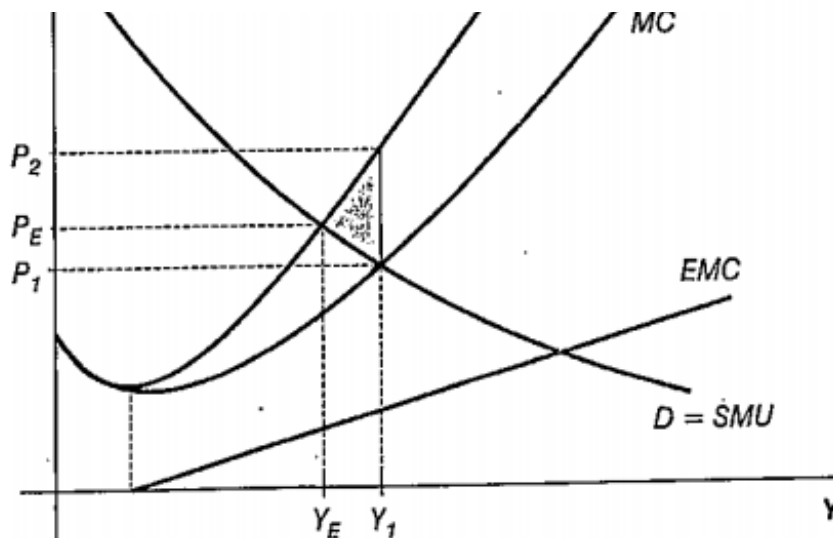
V případě negativních externalit však platí, že  $SMC > MC$  a tudíž i  $SMC > SMU$  [3].

Celkové společenské náklady se totiž budou skládat nejen z nákladů subjektu vykonávajícího danou činnost, ale také z externích mezních nákladů jiných subjektů (EMC = external marginal costs) [7]:

$$SMC=MC+EMC$$

Graficky vypadá situace při vzniku negativního externího efektu takto [7]:

Obrázek 2.2 - Neefektivnost negativních externalit



$[Y_1; P_1]$  - soukromé optimum firmy

$[Y_E; P_E]$  – celkové společenské optimum

$P_E$  = efektivní cena

Soukromé optimum je pod efektivní cenou a je tedy nutno zasáhnout (např. tzv. Pigouovy daně) Tento zásah by měl být ve výši  $[Y_E Y_1]$  - firma bude vyrábět méně a cena poklesne na úroveň  $P_E$ .

## 2.2 Operační výzkum a jeho metody

Operační výzkum je vědní obor, jehož počátky sahají až do dvacátých let minulého století, ale na podstatnějším významu nabyl až za druhé světové války, kdy soužil jako podpora pro realizaci vojenských operací. „Představuje způsob týmové výzkumné práce, při kterém skupina specialistů různého odborného zaměření komplexně řeší složitý ekonomický, technický, organizační nebo vojensko-strategický problém“ [18]. Na problém je nahlíženo jako na komplexní systém, skládající se z mnoha prvků a vazeb mezi nimi, a při jehož řešení je zapotřebí použít znalostí z nejrůznějších vědních oborů. Hlavním nástrojem pro řešení úloh operačního výzkumu je matematický a statistický aparát, po jehož aplikaci (společně s dalšími speciálními metodami operačního výzkumu – viz níže) získáváme výsledek. Ten může být



bud' to návrh řešení komplexního problému (tzn. jednorázové použití modelu), nebo pracovní postup, který vzniklý model bude využívat opakovaně.

Mezi nejpodstatnější rysy OV patří [18]:

- týmová spolupráce specialistů různých oborů a zaměření
- systémový přístup k řešení problému (tzn. pohlíží na zkoumaný objekt jako na celek a zkoumá, jaké vlastnosti vykazuje)
- použití speciálních metod operačního výzkumu
- použití modelové techniky opírající se především o matematicko-statistický aparát

### 2.2.1 Klasifikace modelů

Takto vypadá rozdělení modelů podle Chuchra (1999) [9]:

a) Rozdělení modelů podle toho, zda berou v úvahu náhodné vlivy

- Deterministické – tyto modely nepracují s pravděpodobnostmi, a tudíž nezachycují náhodné vlivy působící na modelovaný systém
- Stochastické – na rozdíl od deterministických modelů počítají s náhodnými a nekontrolovatelnými jevy. Je zapotřebí, na základě analýz, zkušeností nebo znalostí, určit pravděpodobnosti nastání daného jevu.

b) Rozdělení modelů podle toho, zda berou v úvahu časový vývoj systému

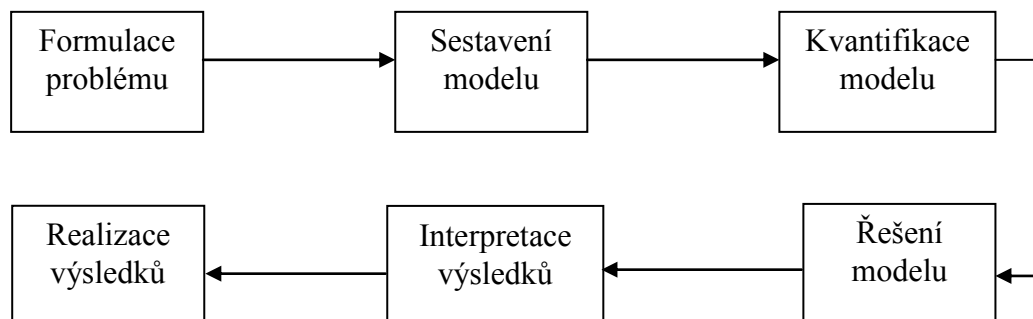
- Statické – vůbec nepracují s časem – jde o popis situace v daném časovém momentu, bez ohledu na to, jak se systém bude dále vyvíjet. Statické modely nalézají využití tam, kde je pro daný účel zkoumání čas nepodstatná veličina.
- Dynamické - Některé systémy se vyvíjejí tak rychle, že je opomenutí času ve výpočtech nepřipustné, popř. si časovou složku může vyžadovat přímo účel modelování. Pak máme dvě možnosti. Bud' to můžeme zvolit pouze určité časové okamžiky (konce měsíců, začátky let apod.) a přistupovat tak k času jako k diskrétní veličině, nebo považovat čas jako spojitý v určitém časovém intervalu  $\langle 0, t \rangle$ .

Mnou konstruovaný ekonomicko-ekologický model bude statický a deterministický. Náhodné jevy nejsou pro cíl projektu příliš podstatné a rovněž zavedení času není nezbytné (navíc v tabulce 2.1 můžeme vidět, že praktické využití dynamického programování, jakožto zástupce metody operačního výzkumu zohledňující čas, je v podstatě nulové).

## 2.2.2 Metodika aplikace operačního výzkumu

Aplikace operačního modelu v praxi probíhá v šesti po sobě jdoucích krocích [18]:

Obrázek 2.3 - Schéma životního cyklu modelování



### 1) Formulace problému

Ze všeho nejdříve musíme identifikovat problém (problém je definován jako odchylka od požadovaného stavu, jejíž odstranění je nutné a zároveň u ní existuje více variant řešení, z nichž dopředu nemůžeme říci, která je nejvhodnější [1]. Ještě než přejdeme k potřebné formulaci problému, je více než žádoucí analyzovat situaci, ve které problém budeme řešit. Takzvaná situační analýza se zabývá rozбором nastalé situace a identifikací symptomů vzniklého problému na daném objektu. Na objektu, kde jsme identifikovali náš problém, zavedeme systém. S ohledem na hledisko, se kterým k objektu přistupujeme, vytipujeme prvky tohoto systému a vazby mezi nimi. Při tom je nutné zvolit vhodnou rozlišovací úroveň tak, abychom se buďto neztráceli v nepodstatných detailech, nebo nám naopak neušly skryté souvislosti. Obecně platí pravidlo “Tak jemně, jak je to nutné a tak hrubě jak je to možné” [10]. V praxi je tato skutečnost velmi obtížně odhadnutelná a závisí zejména na zkušenostech analytika. Výstupem této fáze je tedy správná formulace problému, cíle jeho řešení, určení odpovědnosti za jeho řešení a realizaci, harmonogram řešení a zdrojové zajištění řešení [18].

### 2) Sestavení modelu

Tato fáze představuje proces, ve kterém převádíme prvky námi identifikovaného systému do matematického modelu za pomoci matematického aparátu. I zde platí pravidlo „Méně je někdy více“ – model, jakožto cíleně zjednodušená realita, zde není od toho, aby co nejdokonaleji imitoval skutečnost, ale aby od podrobností nepotřebných v našem zkoumání abstrahoval. Zamezí se tak nepřiměřené komplikovanosti a nepřehlednosti modelu. Nemluvě

o zbytečně investovaném času a penězích. Výsledek je první verze modelu, který však postrádá konkrétní data.

### 3) Kvantifikace modelu

Prázdný model je pochopitelně pro jeho verifikaci nepoužitelný. Proto je třeba jej naplnit daty. Obecně lze říci, že je tato etapa časově nejnáročnější ze všech. Získané údaje musí být včasné, relevantní, přesné a objektivní [12]. Nesmíme dále zapomínat na efektivnost naší práce, jak už bylo zmíněno v úvodu, náklady nesmí převyšovat přínosy. Proto ani informační zajištění pro model se nesmí stát neúnosně drahým.

### 4) Řešení modelu

Řešení modelu zahrnuje experimenty s modelem a jeho testování, které sestává zejména z matematických výpočtů. Ve většině případů se v dnešní době tyto výpočty provádějí s využitím výpočetní techniky, zejména pokud je model příliš rozsáhlý nebo složitý. Je vhodné model otestovat nejprve na dílčím problému, jehož řešení dopředu známe a jsme tudíž schopni posoudit přesnost modelu.

### 5) Interpretace výsledků

Když jsme ve druhé fázi- sestavování modelu převáděli realitu do matematického jazyka, je také nutné provést opačný krok. Čísla, které nám model po výpočtech ukáže, mohou být sebestpřesnější, ale bez toho aniž bychom jim přiřadili konkrétní ekonomický význam, jsou, jako podklad pro rozhodování, prakticky bezcenná.

### 6) Realizace výsledků

Tato práce už nespadá do kompetencí specialisty na operační výzkum, nýbrž managementu, který od analytiků dostal již interpretované výsledky, a který je zodpovědný za provedení konečného rozhodnutí.

## 2.2.3 Metody operačního výzkumu

Operační výzkum je dynamickou disciplínou a stále se vyvíjí. Stejně tak se vyvíjí také jeho speciální metody. Vědci vyvíjejí stále nové a naopak ty, které se v praxi dostatečně neuplatnily, zase zanikají. Následující výčet zahrnuje ty metody, které se v řešení praktických problémů využívaly a využívají nejčastěji.

Z logického hlediska jsou odděleny do dvou skupin [18]:

- 1) Metody pro analýzu struktury a chování systému a jeho okolí
  - a. Síťová analýza – slouží k zobrazení časové posloupnosti projektu.
  - b. Strukturní analýza – viz kapitola 2.2.3.1.
  - c. Úlohy matematického programování – viz kapitola 2.2.3.2.
  - d. Teorie her – zabývá se studiem rozhodovacích situací převážně konfliktního typu.
  - e. Simulační techniky – pomocí napodobení zkoumaného systému analyzuje a racionalizuje řízení složitých procesů.
  
- 2) Modely hlavních subsystémů
  - a. Zásobovací modely – zkoumají řízení zásob.
  - b. Modely teorie obnovy – zabývají se zákonitostmi obnovovacího procesu.
  - c. Modely teorie hromadné obsluhy – řeší problémy spojené s obsluhováním požadavků.

**Tabulka 2.1 - Využití metod operačního výzkumu v podnicích [16]**

Metoda	Nikdy	Několikrát	Pravidelně
Lineární programování	87,4%	4,8%	7,8%
Síťová analýza	90,2%	4,9%	4,9%
Simulační metody	91,3%	2,9%	5,8%
Teorie zásob	91,3%	4,8%	3,9%
Cílové programování	92,2%	2,9%	4,9%
Celočíselné programování	98,1%	0,0%	1,9%
Teorie hromadné obsluhy (teorie front)	99,0%	0,0%	1,0%
Nelineární programování	99,0%	0,0%	1,0%
Teorie her	99,0%	0,0%	1,0%
Markovovy procesy	100,0%	0,0%	0,0%
Dynamické programování	100,0%	0,0%	0,0%
Pozn.: vzorek n=103 respondentů			

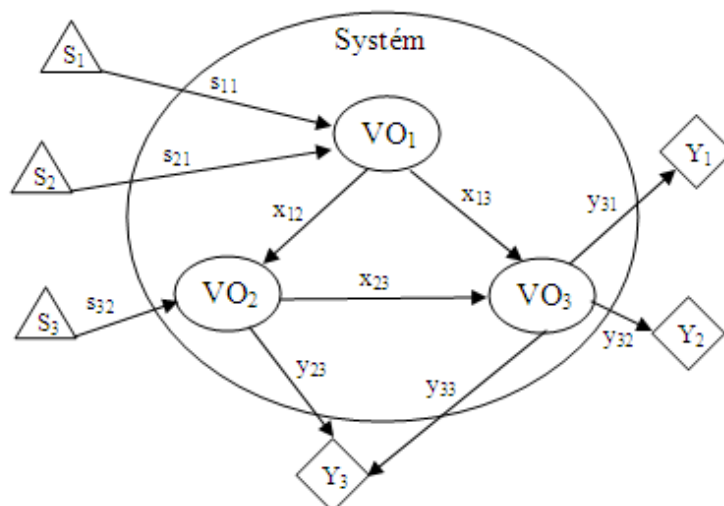
### 2.2.3.1 Strukturní analýza

Předmětem strukturní analýzy je za pomoci strukturního modelu zachytit a analyzovat vazby (ty jsou ve formě dodavatelsko-odběratelských vztahů) mezi prvky (výrobními obory) uvnitř ekonomického systému, ale i mezi systémem a jeho okolím [18].

Přestože strukturní analýza umožňuje sestavit i model s explicitně vyjádřeným časem (např. Langeho dynamický model), budu se zabývat pouze modely statickými, které jsou pro účely mé práce naprosto dostačující. V dnešní praxi se lze setkat nejčastěji s klasickými leontěvovskými statickými modely. Jeden z nich je znázorněn tabulkou 2.2 a obrázkem 2.4.

Zachycuje fiktivní systém využívající surovinových zdrojů (S) k produkci vlastních výrobních oborů (VO), které pak dodává svým odběratelům (Y).

Obrázek 2.4 - Příklad schématu systému



Grafické schéma (Obrázek 2.4) je jedna z možností, jak model zachytit, jeho praktické využití je ale jen minimální. Větší počet modelovaných prvků nebo komplexnější sítě vazeb mezi nimi by ze schématu udělaly nesrozumitelný chaos (tzn. přesný opak, proč strukturní model vlastně vytváříme). Nehledě na to, že forma obrázku prakticky znemožňuje jakoukoli další práci a experimenty s modelem. Jinou možností jak leontěvovský model popsat je soustava algebraických rovnic, jejíž grafické vyjádření je tzv. šachovnicová tabulka (Obrázek 2.2). Ta odstraňuje výše zmíněné nedostatky a rozřazuje prvky a jejich vazby do standardizované podoby. Tabulka obsahuje tři kvadranty – první zaznamenává výrobní obory a vazby mezi nimi, druhý zachycuje vazby mezi výrobními obory a okolím směřující ze systému (prodej) a třetí vazby mezi výrobními obory a surovinami tyto obory spotřebovávající.

První kvadrant obsahuje tabulka vždy. Je popsán následujícími rovnicemi:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} \\ x_2 &= x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} \\ M & \\ x_n &= x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{nn} \end{aligned} \quad (2.1)$$

, kde  $x_{ij}$  je množství produkce i-tého výrobního faktoru na pokrytí spotřeby j-tého výrobního faktoru ( $x_j$ ). Z této skutečnosti vyplývá rovnice, přičemž  $a_{ij}$  nazýváme technickým koeficientem (potřebné množství produkce i-tého oboru na jednotku produkce oboru j-tého).

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot x_j \quad (i,j=1,2,\dots, n) \quad (2.2)$$

Po dosazení rovnice (2.2) do soustavy (2.1), dostaneme novou soustavu:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ x_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n \end{aligned} \quad (2.3)$$

Soustavu ještě upravíme do úspornějšího tvaru maticové rovnice a dostaneme výsledný vzorec:

$$x = Ax \quad (2.4)$$

neboli

$$(E - A)x = 0 \quad (2.5).$$

Tato rovnice vyjadřuje rovnovážný stav uzavřeného systému, který je charakterizován maticí technických koeficientů  $A$ . Aby rovnice měla řešení, musí být výsledná matice  $(E-A)$  singulární.<sup>2</sup>

Druhý kvadrant nám změní uzavřený systém v otevřený. Do rovnic jednotlivých výrobních oborů přibude konstanta toků produkce (nebo její částí) odběratelům. Otevřený model tedy charakterizuje rovnice:

$$x = Ax + y \quad (2.6).$$

Třetí kvadrant nám umožňuje upravit model podle potřeby, pro kterou je vytvářen. Nejběžněji je používán pro zobrazení spotřeby surovinových zdrojů pro výrobní obory. Obecně jej ale můžeme použít pro zachycení libovolných toků spjatých s výrobními obory.

Obecný zápis šachovnicové tabulky se třemi kvadranty vypadá následovně:

---

<sup>2</sup> Matice je singulární právě tehdy, je-li její determinant různý od nuly.

Tabulka 2.2 - Obecná šachovnicová tabulka

		Výrobní spotřeba							Konečná spotřeba				KO	CP
		1	2	...	j	...	n	celkem	1	2	...	k		
Výrobní obory	1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$	$c_1$	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1k}$	$y_1$	$x_1$
	2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$	...	$x_{2n}$	$c_2$	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2k}$	$y_2$	$x_2$
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	I. Kvadrant						.	II. Kvadrant				.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	i	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$	$c_i$	$y_{i1}$	$y_{i2}$	...	$y_{ik}$	$y_i$	$x_i$
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	...	$x_{nj}$	...	$x_{nn}$	$c_n$	$y_{n1}$	$y_{n2}$	...	$y_{nk}$	$y_n$	$x_m$
Surovinové obory, popř. jiné charakteristiky	1	$m_{11}$	$m_{12}$	...	$m_{1j}$	...	$m_{1n}$	$s_1$						
	2	$m_{21}$	$m_{22}$	...	$m_{2j}$	...	$m_{2n}$	$s_2$						
	.	.	.	.	.	.	.	.						
	.	III. kvadrant						.						
	.	.	.	.	.	.	.	.						
	r	$m_{r1}$	$m_{r2}$	...	$m_{rj}$	...	$m_{rn}$	$s_r$						

Kromě přehledného zachycení prvků systému a toků mezi nimi slouží strukturní analýza také k výpočtům neznámých údajů v šachovnicové tabulce. Nejčastější jsou dva případy[18]:

1) Výpočet konečného odbytu při znalosti celkové produkce

Pro výpočet konečného odbytu stačí upravit rovnici 2.6 do tvaru:

$$y = (E - A)x \quad (2.7)$$

Tohoto výpočtu se v praxi využívá např. při plánování, když je potřeba zjistit, jak se projeví změna objemu produkce v jednotlivých výrobních oborech na výši konečného odbytu.

2) Výpočet celkové produkce při znalosti konečného odbytu

Pro získání vzorce pro výpočet celkové produkce lze vyjít opět z rovnice 2.6:

$$x = (E - A)^{-1}y \quad (2.8)$$

Vzhledem ke složitosti tohoto vzorce a také k tomu že výraz  $(E - A)^{-1}$  má sám o sobě ekonomický význam, zavádí odborná literatura [18] jeho substituci  $(E - A)^{-1} = B$ , kde matici  $B$  nazýváme maticí koeficientů komplexní spotřeby. Prvky této matice ( $b_{ij}$ ) vyjadřují celkovou hodnotu produkce  $i$ -tého oboru na jednotku konečného odbytu  $j$ -tého oboru. Využití tento postup nachází v případě, že je potřeba zjistit jak velká úroveň produkce uspokojí danou výši konečného odbytu.

### 2.2.3.2 Matematické programování

Modely úloh matematického programování se zabývají hledáním optimální varianty řešení při snaze dosáhnout stanoveného cíle za určitých omezení (např. optimální alokace omezených zdrojů) [8]. Přívlastek „matematický“ si tato oblast operačního výzkumu vysloužila podle využívání matematického aparátu při samotném řešení (jde v podstatě o upravené metody pro řešení soustav rovnic a pro extremizaci hodnot funkcí). Každá úloha se skládá z [15]:

- 1) Podmínky vlastního omezení – omezení, která je nezbytná splnit, a která určují přípustné řešení. Z matematického hlediska jde o soustavu rovnic a nerovnic, jejichž řešení hledáme (2.9).

$$Zx \leq k \quad (2.9)$$

$Z$  = matice koeficientů omezení, je typu  $m \times n$ , kde  $m$  je počet omezení a  $n$  celkový počet proměnných v omezeních

$x$  = zkoumané proměnné

$k$  = konstanta

- 2) Účelová funkce – kritériální funkce, podle níž jsme schopni určit optimální řešení z množiny řešení přípustných.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extrém},$$

$$\text{nebo pomocí maticového zápisu: } f : c^T x \rightarrow \text{extrém}$$

$f$  je funkcí  $n$  proměnných a tuto funkci se snažíme extremizovat tzn. maximalizovat (např. zisk), nebo minimalizovat (např. náklady).

$c^T$  = vektor cenových koeficientů účelové funkce

- 3) Podmínky nezápornosti – při ekonomickém využití úloh matematického programování mají proměnné vždy určitý ekonomický význam (např. objem produkce vybraného výrobního oboru). Z tohoto důvodu je nezbytné zavést podmínky nezápornosti, které nám zamezí nesmyslným záporným hodnotám proměnných (2.10).

$$x \geq 0 \quad (2.10)$$



Z obrázku 2.1 můžeme zjistit, že v praxi nejpoužívanější oblastí matematického programování je programování lineární, které pracuje s lineární účelovou funkcí. Vzhledem k šíři jeho využití v kombinaci s poměrně snadnou aplikací a očekávanými uspokojivými výsledky, využiji pro svůj model právě lineárního programování. Pro úplnost dodám ještě pár příkladů ostatních druhů matematického programování, jako jsou úlohy nelineární (s nelineární účelovou funkcí), celočíselné (zde musí být jedna nebo více proměnných pouze celá čísla) nebo úlohy dynamického programování, které na rozdíl od předchozích zohledňují čas a tudíž vzniklé modely řadíme mezi dynamické [8].

Z hlediska složitosti řešeného problému rozlišujeme lineární programování monokriteriální (s jednou účelovou funkcí) a vícekriteriální (někdy také multikriteriální – zde hledáme optimum vzhledem k více účelovým funkcím [11]. Vzhledem k tomu, že vícekriteriální úloha, která je předmětem i mé práce, se během řešení transformuje na problém pouze s jednou účelovou funkcí, začnu nejprve metodikou MLP.

### **Metodika řešení MLP [16]**

- a) Dosazování přípustných řešení do účelové funkce – tento primitivní mechanický postup lze použít pouze při velmi malém počtu proměnných a tedy i přípustných řešení. V praxi se nepoužívá.
- b) Simplexová metody – nejrozšířenější metoda lineárního programování.
- c) Grafické řešení – nejprve zavedeme kartézskou soustavu souřadnic, následně do ní vyznačíme všechny omezující podmínky a rovnici účelové funkce. Na první pohled jde vidět, že tento způsob řešení se v praxi příliš použít nedá. Rys nám nikdy neprokáže tak přesné výsledky jako matematický výpočet, nehledě na značnou nepřehlednost při větším počtu omezujících podmínek.

### **Nezbytné vlastnosti optimálního řešení úlohy LP [6]**

- Nedominovanost – označíme-li si optimální řešení jako vektor  $x'$ ,  $\{x' \in X, x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)\}$ , ( $X$  je množina všech přípustných variant řešení,  $x'_i, i = 1, 2, \dots, n$  jsou hodnoty  $i$ -tých proměnných při aplikaci optimálního řešení), pak musí platit, že  $F(x') \geq F(x)$ ,  $x \in X$ ,  $f(x)$  = účelová funkce.
- Invariance vzhledem k permutaci kritérií – přehozením pořadí vstupních podmínek se optimální řešení nezmění.

- Invariance vzhledem ke změně měřítka hodnot kritérií – pokud vynásobíme matici kritérií A libovolným skalárem, optimální řešení se nezmění.
- Invariance vzhledem k přidáním neoptimálních řešení – přidáme-li do množiny přípustných řešení X nový vektor  $x''$ ,  $x'' \neq x'$ , pak se optimální řešení nezmění.
- Je-li více optimálních řešení, pak musí platit, že hodnota účelové funkce každého z nich je stejná ( $F(x'_1) = F(x'_2)$ ,  $x'_1 \neq x'_2$ )

### Vícekritériální programování

Jak jsem se zmínil již výše, úloha VLP hledá optimum vzhledem ke dvěma a více účelovým funkcím. Obecně ji tedy můžeme zapsat v takovémto tvaru [8]:

Soustava účelových funkcí:

$$\begin{aligned} c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n &\rightarrow \text{extrém} \\ c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n &\rightarrow \text{extrém} \\ &\vdots \\ c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n &\rightarrow \text{extrém} \end{aligned}$$

Nebo pomocí zjednodušeného maticového zápisu:

$$\begin{aligned} c^1 x &\rightarrow \text{extrém} \\ c^2 x &\rightarrow \text{extrém} \\ &\vdots \\ c^k x &\rightarrow \text{extrém} \end{aligned}$$

, kde  $c^i, i=1,2,\dots,k$  je analogicky s MLP vektor cenových koeficientů  $i$ -té účelové funkce a vektor  $x$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  je libovolný vektor, který vyhovuje všem podmínkám vlastního omezení i podmínkám nezápornosti (označujeme jej také jako přípustné řešení nebo také přípustná varianta).

Podmínky vlastního omezení a podmínky nezápornosti zůstávají totožné s MLP, tedy:

$$\{Ax \leq b, x \geq 0\}$$

V úlohách MLP je hledání řešení v zásadě jednoduché – pokud známe přípustná řešení, stačí najít požadovanou extrémní funkční hodnotu účelové funkce pro přípustné vektory  $x$ . Zde je situace o poznání složitější – musíme brát v úvahu všechny zadané funkce a ty mohou být navzájem antagonistické (příkladem z oblasti ekonomie může být např. minimalizace nezaměstnanosti a zároveň minimalizace inflace – snížením hodnoty jedné veličiny se zvýší hodnota druhé a naopak. Hledání řešení problému VLP je v podstatě hledání

kompromisu mezi několika požadovanými cíli. Pro optimální řešení i zde platí zásady, které jsem uvedl na začátku této kapitoly. Velmi důležitá je zvláště nedominovanost optimálního řešení. Řešení  $x'$  z množiny řešení  $X$  se nazývá v úlohách VLP nedominované, jestliže neexistuje, žádné jiné řešení  $x''$  z téže množiny  $X$  ( $x' \neq x''$ ), pro které platí, že:

$$(c_1 x'', c_2 x'', \dots, c_k x'') \geq (c_1 x', c_2 x', \dots, c_k x')$$

Jak už jsem výše zmínil, metodika řešení úloh VLP je taková, že se podle různých principů převedou z multikriteriálních na monokriteriální, které jsou pak snadno řešitelné. Pro snazší provádění výpočtů je vhodné, abychom všechny účelové funkce vedli do stejných extrémů (např. všechny funkce maximalizovat). Konverze k opačnému extrému je velmi jednoduchá – stačí u ní změnit znaménko ( $f(x) \rightarrow -f(x)$ ) (Platí totiž, že  $\arg \max(-f(x)) = \arg \min f(x)$  [7]. Mezi nejpoužívanější principy řešení úloh VLP patří (všechny uvedené postupy předpokládají, že všechny kriteriální funkce maximalizujeme) [11]:

### 1. Princip agregace účelových funkcí

Nejprve si účelové funkce ohodnotíme vahami podle důležitostí a potom je sjednotíme v jednu kriteriální funkci:

$$\sum_{i=1}^k (v_i c^i x) \rightarrow \max$$

, kde  $v_1, v_2, \dots, v_k$  jsou váhy přiřazené první až k-té účelové funkci. Dále platí, že  $\sum_{i=1}^k v_i = 1$ .

### 2. Kompromisní řešení podle minimální komponenty

Z množiny všech přípustných řešení  $X$  vybereme minimální hodnotu ze všech účelových funkcí. Získaná hodnota se nazývá komponenta  $\delta$ . Pak už stačí jen vyřešit jednoduchou úlohu MLP, ve které budeme komponentu maximalizovat ( $\delta \rightarrow \max$ ) za těchto podmínek vlastního omezení:  $c^i x \geq \delta$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $x \in X$ .

### 3. Minimalizace vzdáleností od ideálních hodnot

Tato metoda vyžaduje stejně jako agregace účelových funkcí váhové ohodnocení ( $v_i$ ) jednotlivých funkcí. Do výpočtu však navíc zahrnuje optimální hodnoty vzhledem k omezujícím podmínkám pro každou účelovou funkci zvlášť (je tedy nutné pro každou

funkci řešit zvlášť úlohu MLP). Označíme-li si optimální variantu  $i$ -té účelové funkce jako  $x'_i$ , řešíme:

$$\sum_{i=1}^k v_i (c^i x'_i - c^i x), \quad x \in X, \quad \sum_{i=1}^k v_i = 1$$

#### 4. Cílové programování

Na rozdíl od předchozích metod se cílové programování nezabývá prostou extremizací funkce. V praxi je využíváno tak, že rozhodovatel (zadavatel) určí cílové hodnoty pro jednotlivá kritéria a analytik pak hledá takové řešení, které minimalizuje součet vážených odchylek dosažených hodnot kritériálních funkcí od cílových hodnot. Neboli jinak řečeno se snaží stanoveným cílům co nejvíce přiblížit. Problém může být v tom, aby cíle nebyly příliš nízké (dosažitelné snadno i bez využití cílového programování), nebo naopak značně nadsazené (odchyly dosažených hodnot jsou pak vysoké a použití metody je v podstatě opět zbytečné).

## 2.3 Klasifikace nejvýznamnějších škodlivých emisních látek

V této kapitole se budu věnovat látkám, které těžký průmysl svou činností produkuje, a které jsou pro člověka nebo celou biosféru toxické. Vedle negativních dopadů na životní prostředí vytváří vypouštění těchto látek do přírody také ekologické náklady (jejich aktuální stanovenou výši pro vybrané polutanty ukazuje tabulka 2.3).

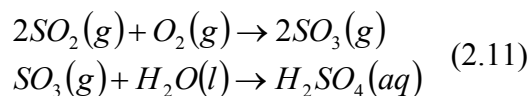
Tabulka 2.3 - Poplatky za zvolené odpady [3]

Odpad	Cena (v Kč/t)
SO <sub>2</sub>	1000
NO(X)	800
CO	600
popílek	3000
NH <sub>3</sub>	1000
CH <sub>4</sub>	1000
PAU	20000
Těžké kovy	20000

Mezi největší a nejčastější látky produkované průmyslovými podniky patří [5]:

**SO<sub>2</sub> (Oxid siřičitý)** – Bezbarvý plyn štiplavého zápachu (podobný hořící síře) vznikající zejména spalováním fosilních paliv. U rostlin snižuje efektivitu fotosyntézy (váže se na chlorofyl), u lidí může vést k chronickým a nádorovým onemocněním dýchacího ústrojí a v neposlední řadě je jedním z původců tzv. kyselých dešťů (viz rovnice 2.11), které mají rovněž toxické účinky na živé organismy, navíc díky vysokému pH (až 4,0) působí korozivně

na kovové předměty a stavby (kyselina sírová reaguje s kovy za vzniku vody a příslušných síranů).



g = gas (plynné skupenství)

l = liquid (kapalné skupenství)

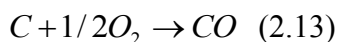
aq = vodní roztok

**NO<sub>x</sub> (Oxidy dusíku)** – Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) je hořlavý toxický plyn červenohnědé barvy vznikající zejména ve spalovacích motorech. Stejně jako SO<sub>2</sub> je zdrojem kyselých dešťů a těžkých dýchacích poruch u živočichů i člověka. Navíc tento plyn absorbuje UV záření a je základem fotochemických reakcí, jimiž vznikají oxidační smogy (ty obsahují další vysoce toxické látky, jako např. ozon nebo peroxiacetylnitráty).



Oxid dusnatý (NO) je hořlavý, toxický, leptající bezbarvý plyn. Vzniká např. při hydrolýze oxidu dusičitého (rovnice 2.12). V malém množství je pro člověka nezbytný, při větší koncentraci vede opět k respiračním onemocněním.

**CO (Oxid uhelnatý)** – Jedná se o extrémně hořlavý toxický plyn bez chuti či zápachu vznikající nedokonalým spalováním uhlíku (rovnice 2.13). Jeho toxicita pro člověka a jiné živé tvory je zapříčiněna silnou afinitou k hemoglobinu (krevnímu barvivu, které umožňuje přenos okysličené krve z plic do tkání). Ten místo kyslíku přednostně naváže oxid uhelnatý a dojde nejprve k odumření tělních tkání, následně k udušení.



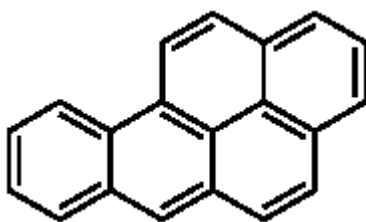
**Popílek** – pevné, různě velké částičky látek produkované zejména při spalování. Pokud je při výrobě zachycen, jde ho velmi dobře využít jako příměs do stavebních hmot. Pokud unikne do ovzduší, může být zdrojem dýchacích potíží a zamoření půdy. Popílek obsahující suspenzi beryllia, arsenu a molybdenu tvoří spolu s oxidem siřičitým tzv. kyselý smog, který působí toxicky na všechny živé organismy.

**NH<sub>3</sub> (amoniak, nebo také azan)** – štiplavý plyn leptající sliznice a velmi škodlivý životnímu prostředí.

**Těžké kovy** – Vznikají např. při spalování fosilních paliv (ve formě aerosolu obsahující vysoce toxické rtuť a olovo), nebo při pražení rud a tavení kovů (uniká olovo, zinek, měď či kadmium). Těžké kovy působí jako herbicidy pro mnoho druhů rostlin, navíc se dlouhodobě usazují v organismu a jsou zdrojem těžkých onemocnění.

**C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> (uhlovodíky)** – Nejtriviálnější uhlovodík – methan (CH<sub>4</sub>) je extrémně hořlavý plyn přítomný všude tam, kde jsou fosilní paliva. Přímé ohrožení pro člověka představuje jen v uzavřených nevětraných prostorech (jako jsou jeskyně či štoly), jeho nepřímé dopady jsou však daleko nebezpečnější – díky své vlastnosti pohlcovat UV záření patří methan k nejvýznamnějším skleníkovým plynům (jeho dopady jsou až 20x větší, než u nejrozšířenějšího oxidu uhličitého). I skupina uhlovodíků má mezi sebou zástupce, kteří jsou pro ekosystémy vysoce toxické. Nejznámější skupinou takovýchto látek jsou polycyklické uhlovodíky (PAU), které jsou silně karcinogenní<sup>3</sup> a navíc ohrožují vývoj plodu. PAU vznikají nedokonalým spalováním uhlíkatých látek (tzn. při hoření fosilních paliv, ale také třeba jen tabáku v cigaretě) a díky své vysoké persistenci (schopnosti odolávat běžným rozkladným procesům) mohou být přenášeny v atmosféře na stovky kilometrů od zdroje znečištění. Nejrozšířenější zástupce polycyklických uhlovodíků je benzo(a)pyren (chemicky přesněji benzo(a)pyren; viz Obrázek 2.5).

**Obrázek 2.5**



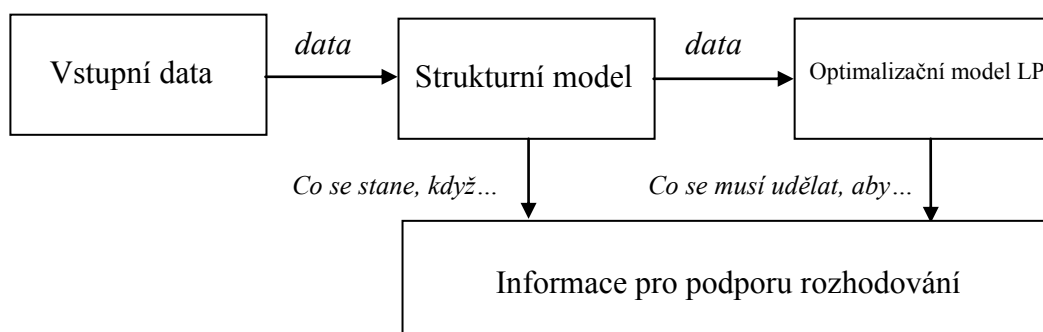
**Vzorec 1 - C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> - benzo(a)pyren**

<sup>3</sup> Výjimku tvoří dva jednodušší polycyklické uhlovodíky běžně užívané v průmyslu, a sice naftalen a antracen.

### 3. Tvorba ekologicko-ekonomického modelu

Mnou sestrojovaný model se bude skládat ze dvou částí. Jednou částí bude strukturní model, který bude agregovat pro nás potřebné prvky modelovaného systému a vazby mezi nimi a tou druhou pak optimalizační model lineárního programování. Pořadí tvorby obou dílčích modelů je předem dáno – optimalizační model čerpá svá data ze strukturního (Obrázek 3.1). Celý model by pak měl sloužit jako znovupoužitelná šablona, jak pro budoucí použití firmou, na základě jejichž údajů byl sestaven, tak po drobných korekcích také jinými průmyslovými podniky.

Obrázek 3.1 - Rámcové schéma fungování modelu



#### 3.1 Strukturní model

Jak bylo výše zmíněno, strukturní model zachycuje podstatné prvky zkoumaného systému a vazby mezi nimi a utřídí je do přehledné standardizované formy – a sice do šachovnicové tabulky. Její obecné základní schéma je na obrázku 2.2. Tento základní tvar však na první pohled není pro eko-eko model dostačující.

Základem zůstane první kvadrant, který zachycuje výrobní obory a vztahy mezi nimi. Ve druhém kvadrantu, kde se zachycuje konečná spotřeba, není potřeba zaznamenávat strukturu odběratelů pro jednotlivé výrobní obory, postačí jen suma  $y_n$ , která sčítá konečnou spotřebu  $n$ -tého oboru. Jak je uvedeno v teoretické části ke strukturní analýze (Kapitola 2.2.3.1.), je jedním ze základních požadavků na strukturní model dopočet buďto hodnoty celkové produkce při znalosti celkového odbytu a matice technických koeficientů, nebo výpočet odbytu výroby za předpokladu, že známe matici technických koeficientů a velikost celkové produkce. Pro pohodlí uživatele je vhodné počítat s oběma zmíněnými alternativami (viz kapitola 3.2.2).

Podstatně větších korekcí je potřeba provést v kvadrantu číslo tři. Struktura surovinových zdrojů jako taková nemá žádný vliv na velikost produkce, ani na množství odpadů produkcí vytvořených, není proto důvod, je do tabulky zahrnout. Naproti tomu obecná strukturní tabulka vůbec nezachycuje ekologické charakteristiky, které jsou pro eko-eko modelování stavebním kamenem. Pro tento účel bude zaveden III. kvadrant, který zachytí odpady produkované výrobními obory. Do modelu budou zahrnuty pouze odpady, které buďto unikly do biosféry, nebo byly předány jiným subjektům ke zpracování či uskladnění. To znamená, že je abstrahováno od odpadů, jež byly zachyceny, a firma je recykluje pro další použití. Důvod tohoto zjednodušení je prostý – model by se rozšířil o celou řadu dalších vazeb, jako jsou např. investice do odpadového managementu. To by model jednak učinilo výrazně složitějším a v neposlední řadě by také narostly nároky na potřebné informace. Abstrakcí od recyklace by výsledky modelu neměly nijak výrazně ztratit na váze – na jedné straně ubudou náklady (např. investice do zachytávajících a odpady transformujících strojů a zařízení), na straně druhé ale také příjmy z recyklovaných výrobků.

Výsledná tabulka tedy bude vypadat následovně:

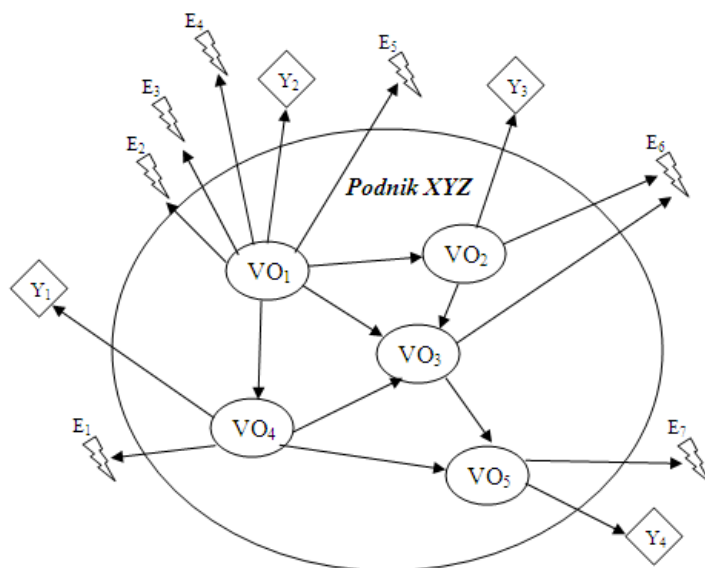
**Tabulka 3.1 - Obecná podoba strukturního eko-eko modelu**

		Výrobní spotřeba						Konečný odbyt	Celková produkce	
		1	2	...	j	...	n	celkem		
Výrobní obory	1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$	$\Sigma x_1$	$y_1$	$X_1$
	2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$	...	$x_{2n}$	$\Sigma x_2$	$y_2$	$X_2$
	.	.	<b>I. Kvadrant</b>					.	.	.
	.	.						.	.	.
	.	.						.	.	.
	i	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$	$\Sigma x_i$	$y_i$	$X_i$
	.	.						.	.	.
	.	.						.	.	.
	.	.						.	.	.
n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	...	$x_{nj}$	...	$x_{nn}$	$\Sigma x_n$	$y_n$	$X_m$	
Ekologické charakteristiky	1	$e_{11}$	$e_{12}$	...	$e_{1j}$	...	$e_{1n}$	$\Sigma e_1$		
	2	$e_{21}$	$e_{22}$	...	$e_{2j}$	...	$e_{2n}$	$\Sigma e_2$		
	.	.						.		
	.	.	<b>III. kvadrant</b>					.		
	.	.						.		
	r	$e_{r1}$	$e_{r2}$	...	$e_{rj}$	...	$e_{rn}$	$\Sigma e_r$		

Schematicky by šel tento model znázornit také např. obrázkem 3.2.



Obrázek 3.2 - Obecné schéma prvků a vazeb systému pro strukturní model



Jaké údaje bude strukturní model obsahovat, již tedy bylo určeno. Dále následuje forma, v jaké budou údaje zadávány. Model zachycuje materiální toky, které jsou ohodnoceny množstvím ve svých jednotkách. Pokud by bylo cílem zjistit pouze strukturu systému (tzn., že by strukturní model byl z hlediska modelování tím konečným), bylo by toto ohodnocení postačující. Avšak vzhledem k tomu, že primárním úkolem strukturního modelu je zdroj dat pro následný optimalizační model, je zapotřebí myslet dopředu. Pokud je cílem modelování zajistit eko-eko rovnováhu, je naprosto nezbytné vyjádřit prvky a toky v modelu také v peněžních jednotkách. Nejen, že tato transformace usnadní pozdější úlohu matematického programování, ale může být rovněž přínosná i pro uživatele, který tak bude mít dobrý přehled, kde se v podniku tvoří hodnota a kde se generují jaké částky.

## 3.2 Strukturní model v naturálních jednotkách

Zavedením měrných jednotek se tabulka změní následovně:

Tabulka 3.2 - Obecné schéma šachovnicové tabulky v naturálních jednotkách

			Výrobní spotřeba							Konečný odbyt	Celková produkce	
		jednotky	1	2	...	j	...	n	celkem			
Výrobní obory	1	j <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	...	x <sub>1j</sub>	...	x <sub>1n</sub>	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	
	2	j <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	...	x <sub>2j</sub>	...	x <sub>2n</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	I. Kvadrant						.	.	.	
	i	j <sub>i</sub>	x <sub>i1</sub>	x <sub>i2</sub>	...	x <sub>ij</sub>	...	x <sub>in</sub>	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	n	j <sub>n</sub>	x <sub>n1</sub>	x <sub>n2</sub>	...	x <sub>nj</sub>	...	x <sub>nn</sub>	x <sub>n</sub>	y <sub>n</sub>	X <sub>n</sub>	
Ekologické charakteristiky	1	j <sub>e1</sub>	e <sub>11</sub>	e <sub>12</sub>	...	e <sub>1j</sub>	...	e <sub>1n</sub>	e <sub>1</sub>			
	.	.	e <sub>21</sub>	e <sub>22</sub>	...	e <sub>2j</sub>	...	e <sub>2n</sub>	e <sub>2</sub>			
	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
	.	.	III. kvadrant						.			.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.			.
	m	j <sub>em</sub>	.	.	.	.	.	.	e <sub>m</sub>			

Výrobní obory se mohou podnik od podniku výrazně lišit, nelze je tedy dost dobře v modelu bez konkrétních dat blíže specifikovat. U odpadů to už možné je – odpady můžeme obecně rozdělit na emise (odpady putující do atmosféry), odpadní vody a tuhé odpady. Při takovémto rozdělení lze u vzniklých subkvadrantů určit, nebo alespoň odhadnout, vhodné jednotky. Tuhé odpady se měří v tunách, kapalné odpady buďto v litrech, kilogramech nebo metrech krychlových (v případě čisté vody jsou všechny tři zmíněné jednotky navzájem zaměnitelné, u jiných kapalin je už ale díky různým hustotám zapotřebí rozdíly rozlišovat), a u v případě odpadů v plynném skupenství se nejčastěji používá metrů krychlových, popř. tun. To, jakých z nabízených možností se nakonec využije, záleží už na konkrétních popisovaných látkách. Svůj význam zde hraje také velikost zadávaných hodnot – než model zbytečně krmit údaji v řádech miliard (s devíti místy před desetinnou čárkou), je v zájmu přehlednosti vhodnější zvolit jednotku o několik řádů nižší. Aby byl model co nejširěji použitelný, bude volba jednotek ponechána na koncovém uživateli a jeho vlastním rozhodnutí. Upravenou tabulku ukazuje obrázek 3.3.

**Tabulka 3.3 - Obecné schéma šachovnicové tabulky v naturálních jednotkách s diferenciovanými ekologickými náklady**

				Výrobní spotřeba							Konečný odbyt	Celková produkce		
				jednotky	1	2	...	j	...	n	celkem			
Výrobní obory	1		j <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	...	x <sub>1j</sub>	...	x <sub>1n</sub>	Σx <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>		
	2		j <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	...	x <sub>2j</sub>	...	x <sub>2n</sub>	Σx <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>		
	.		.	.					.	.	.	.		
	.		.	.					.	.	.	.		
	.		.	I. Kvadrant						.	.	.		
	i		j <sub>i</sub>	x <sub>i1</sub>	x <sub>i2</sub>	...	x <sub>ij</sub>	...	x <sub>in</sub>	Σx <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>		
	.		.	.					.	.	.	.		
	.		.	.					.	.	.	.		
n		j <sub>n</sub>	x <sub>n1</sub>	x <sub>n2</sub>	...	x <sub>nj</sub>	...	x <sub>nn</sub>	Σx <sub>n</sub>	y <sub>n</sub>	X <sub>m</sub>			
Ekologické charakteristiky	Emise	1	t	e <sub>11</sub>	e <sub>12</sub>	...	e <sub>1j</sub>	...	e <sub>1n</sub>	Σe <sub>1</sub>				
		.	t	e <sub>21</sub>	e <sub>22</sub>	...	e <sub>2j</sub>	...	e <sub>2n</sub>	Σe <sub>2</sub>				
		.	t	.					.	.				
		.	t	.	III. kvadrant								.	.
		.	t	.					.	.				
		.	t	.					.	.				
	TO	.	t	.					.	.				
		.	t	.					.	.				
	OV	.	hl	.					.					
r		hl	e <sub>r1</sub>	e <sub>r2</sub>	...	e <sub>ri</sub>	...	e <sub>rn</sub>	Σe <sub>r</sub>					

Obecný strukturní model vyjádřený v naturálních jednotkách je hotov a je připraven k softwarové implementaci a následnému importu dat.

### 3.2.1 Strukturní model v peněžních jednotkách

Jak bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, z důvodu sjednocení měrných jednotek v tabulce, je zapotřebí transformovat naturální jednotky na finanční. V některých případech je převod velmi jednoduchý, někdy však může činit z nejrůznějších důvodů problém. Úskalím může být například obtížný přístup k potřebným cenovým informacím, nebo příliš velké variační rozpětí hodnot v jednotlivých kvadrantech a subkvadrantech.

Koeficienty prvního kvadrantu je zapotřebí vynásobit jednotkovou výrobní cenou jednotlivých výrobních oborů (c). Jednotkovou výrobní cenu buďto známe, nebo ji spočítáme jako sumu variabilních a fixních nákladů za jednotlivé výrobní obory podělenou množstvím jednotek těchto oborů. Při počítání nákladů a výnosů za produkty popř. za celou výrobu je nutné vzít v úvahu tzv. předávací náklady a výnosy.

Druhý kvadrant se převede velmi jednoduše – postačí vektory odbytu ( $y$ ) vynásobit jednotkovou prodejní cenou produktu ( $P$ ). Suma získaných hodnot ve druhém kvadrantu pak determinuje příjmy společnosti při objemech produkce (respektive celkového odbytu) ze strukturního modelu v naturálních jednotkách.

Ve třetím kvadrantu modelu se převádí do finančního vyjádření vyprodukované odpady – ať už jde poplatky firmám, které vzniklý odpad odvezou na skládku, popř. k recyklaci, nebo poplatky úřadům za znečištění biosféry. Přehled poplatků a daní souvisejících se životním prostředím publikuje na svých stránkách Česká informační agentura životního prostředí [3].

**Tabulka 3.4 - Šachovnicová tabulka eko-eko modelu v peněžních jednotkách**

			Výrobní spotřeba						Konečný odbyt	Zisk	
			1	2	...	j	...	n	celkem		
Výrobní obory	1		$C_1x_{11}$	$C_1x_{12}$	...	$C_1x_{1j}$	...	$C_1x_{1n}$	$\Sigma C_1x_1$	$P_1y_1$	$X_1$
	2		$C_2x_{21}$	$C_2x_{22}$	...	$C_2x_{2j}$	...	$C_2x_{2n}$	$\Sigma C_2x_2$	$P_2y_2$	$X_2$
	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
	i		$C_ix_{i1}$	$C_ix_{i2}$	...	$C_ix_{ij}$	...	$C_ix_{in}$	$\Sigma C_ix_i$	$P_iy_i$	$X_i$
	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.
n		$C_nx_{n1}$	$C_nx_{n2}$	...	$C_nx_{nj}$	...	$C_nx_{nn}$	$\Sigma C_nx_n$	$P_ny_n$	$X_m$	
Ekologické charakteristiky	Emise	1	$r_1e_{11}$	$r_1e_{12}$	...	$r_1e_{1j}$	...	$r_1e_{1n}$	$\Sigma r_1e_1$		
		.	$r_2e_{21}$	$r_2e_{22}$	...	$r_2e_{2j}$	...	$r_2e_{2n}$	$\Sigma r_2e_2$		
		.	.	.	.	.	.	.			
		.	.	.	.	.	.	.			
		.	.	.	.	.	.	.			
		.	.	.	.	.	.	.			
		.	.	.	.	.	.	.			
	TO	.	.	.	.	.	.	.	.		
		.	.	.	.	.	.	.	.		
	OV	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

## Předávací náklady a výnosy

Při hlubším zamyšlení nad vztahem struktury modelu a nákladů však vyvstane malý problém. Vynásobením objemu produkce jednotkovými náklady může dojít (a v drtivé většině případů také dojde) k vícenásobnému započítání jedné a těch samých nákladů. Jinak řečeno – pokud je i-tý výrobní obor s výrobními náklady  $c_i$  surovinou j-tého oboru s náklady  $c_j$ , nelze při zjišťování celkových nákladů na všechny obory počítat jako součet  $c_i + c_j$ ; náklady j-tého oboru již totiž  $c_i$  implicitně obsahují. Tyto překrývající se náklady lze označit jako „předávací náklady“.

Pro výpočet celkových nákladů je možno postupovat dvěma základními způsoby, které nejsou nepodobné běžně užívaným postupům v praxi, jako je např. výpočet agregátního produktu ekonomiky apod.

První způsob, označme jej jako „přírůstkový“, počítá vždy jen s náklady přidanými v jednotlivých stupních vývoje produktu. Celkové náklady se pak vypočítají následovně:

$$TC = \sum_{i=1}^n ((c_i - c_{i-pred}) \cdot x_i),$$

kde  $n$  je počet výrobních oborů,  $c_i$  celkové jednotkové náklady,  $c_{i-pred}$  předávací náklady i-tému oboru a  $x$  objem produkce.

Druhý způsob pak bere v úvahu pouze konečné produkty (resp. objemy produktů, které odcházejí mimo firmu –  $y_i$ ):

$$TC = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot y_i).$$

Při správné aplikaci musí oba způsoby ústít v jeden a týž výsledek. Z tohoto pohledu je tedy jedno, která varianta bude užita. Dle mého názoru je ale vhodnější přírůstková metoda, jelikož kromě konečného součtu ještě podává uživateli informace o struktuře tvorby nákladů ve výrobě.

Stejný princip jako u nákladů funguje také na opačné straně barikády, u výnosů. Zde je ale vhodnější použít buďto oba výpočty, nebo jen ten, který se počítá z konečného odbytu (to, která část výroby přináší větší, či menší přidanou hodnotu je sice zajímavý ukazatel, ale výnosy z prodeje jednotlivých výrobních oborů jsou pro podnik nepostradatelné).

### 3.2.2 Implementace strukturního modelu v MS Excel

Při implementaci je cílem, kromě toho, aby model byl obsahově správný, také to, aby byl pro své uživatele co nejpřehlednější, a i přes poměrně velké množství dat se v něm

neztráceli. Dále je žádoucí vyvarovat se pokud možno redundancím ze strany uživatelských vstupů, což zajistí provázanost buněk vzájemnými odkazy.

Požadované uživatelské vstupy lze rozdělit do dvou skupin:

- a) Vstupy potřebné pro strukturní i optimalizační model (výrobní obory a odpady se svými jednotkami) – tyto vstupy budou ponechány na samostatném listě (Tabulka 3.5), tím bude podtrženo jejich celomodelové použití.

**Tabulka 3.5 - Výrobní obory a odpady - zadání vstupů**

<b>Podnik</b>	<b>Název</b>		<b>Jednotky</b>
Výrobní obory	1	výrobní obor 1	j1
	2	výrobní obor 2	j2
	3	výrobní obor 3	j3
	4	výrobní obor 4	j4
	5	výrobní obor 5	j5
	6	výrobní obor 6	j6
	7	výrobní obor 7	j7
	8	výrobní obor 8	j8
Ekologické charakteristiky	Emise	emise 1	j9
		emise 2	j10
		emise 3	j11
		emise 4	j12
	OV	emise 5	j13
		emise 6	j14
	TO	emise 7	j15
		emise 8	j16

- b) Vstupy potřebné jen pro strukturní model (matice výrobních a ekologických koeficientů, celková spotřeba a konečný odbyt produkce) – budou se zadávat přímo do šachovnicové tabulky, nebo alespoň na stejný list. Jelikož jsem se rozhodnul sestavit model tak, aby byl schopný dopočítat X (při zadání matic A a Y) a také Y (při znalosti matic A a X), bude šachovnicová tabulka pro zadání naturálních jednotek v souboru obsažena dvakrát a lišící se pouze v tom, které buňky jsou vstupní a které obsahují vzorec pro automatický dopočet (pro lepší přehlednost umístím obě tabulky na samostatný list - SM-naturální-X - když je známa celková spotřeba a SM-naturální-Y když je zadán konečný odbyt).

Jsem si vědom skutečnosti, že dvojí zařazení téhož modelu v týchž jednotkách může později vyvolat lehké problémy – a to zejména s transformací do finančního vyjádření a posléze na optimalizační model. Pokud však uživatel má mít možnost vybrat si neznámou v modelu, nenabízí se žádná efektivnější alternativa. Při vepsání vstupních hodnot do pole

obsahující vzoreček by došlo k přepsání vzorce a tudíž k poškození vazeb v modelu. Předpoklad správných výpočtů je, že uživatel vyplní pouze jeden ze dvou nabízených modelů (podle toho, jaké data má k dispozici).

Pro snazší seznámení s použitými vzorci slouží odkazy vložené do schématu modelu (Tabulka 3.6 a 3.7.). Popis oblastí se vzorci bude proveden vždy nejprve slovně, následně samotným vzorcem v notaci MS Excelu a na závěr obecně formulovaným vzorcem obsahujícím potřebné definované proměnné.

**Tabulka 3.6 – Matice technických koeficientů strukturního modelu implementovaná v MS Excelu**

Matice A		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Výrobní obor 1								
2	Výrobní obor 2								
3	Výrobní obor 3			Uživatelský vstup 1					
4	Výrobní obor 4								
5	Výrobní obor 5								
6	Výrobní obor 6								
7	Výrobní obor 7								
8	Výrobní obor 8								

**Tabulka 3.7 – Šachovnicová tabulka strukturního modelu v naturálních jednotkách implementovaná v MS Excelu**

Podnik			Měrné jednotky	Výrobní spotřeba								celkem	KO	CP
				1	2	3	4	5	6	7	8			
Výrobní obory	1	Výrobní obor 1	j1									Vzorec 2	Vzorec 3 nebo uživatelský vstup 2	Vzorec 4 nebo uživatelský vstup 3
	2	Výrobní obor 2	j2											
	3	Výrobní obor 3	j3			Vzorec 1								
	4	Výrobní obor 4	j4											
	5	Výrobní obor 5	j5											
	6	Výrobní obor 6	j6											
	7	Výrobní obor 7	j7											
	8	Výrobní obor 8	j8											
Ekologické charakteristiky	emise	Jednotkové emise										Vzorec 5		
		emise 1	j9											
		emise 2	j10			Uživatelský vstup 4								
		emise 3	j11											
	Emise na produkci	emise 4	j12									Vzorec 7		
		emise 1	j13											
		emise 2	j14			Vzorec 6								
		emise 3	j15											
	OV/j	emise 4	j16									Vzorec 8		
		TOV	j17			Uživatelský vstup 5								
	TO/j	ostatní OV	j18									Vzorec 9		
		TTO	j19			Uživatelský vstup 6								
		ostatní TO	j20											

Aby šlo pro demonstraci využít konkrétních excelovských vzorců, je přidána tabulka 3.8 s adresami všech oblastí (zdůrazňuji, že má význam pouze pro zachycení struktury užitých vzorců – uživatelským upravením dle řešeného problému se rozsah oblastí změní).

**Tabulka 3.8 - Adresy oblastí**

SM v naturálních jednotkách	
Uživatelský vstup 1	E2:L9
Uživatelský vstup 4	F21:M24
Uživatelský vstup 5	F29:M30
Uživatelský vstup 6	F31:M32
Vzorec 1	F13:M20
Vzorec 2	N13:N20
Vzorec 3/už. vstup 2	O13:O20
Vzorec 4/už. vstup 3	P13:P20
Vzorec 5	N21:N24
Vzorec 6	F25:M28
Vzorec 7	N25:N28
Vzorec 8	N29:N30
Vzorec 9	N31:N32
Pomocná jednotková matice	A35:H42

SM v peněžních jednotkách	
Uživatelský vstup 7	E27:L34
Uživatelský vstup 8	E42:L42
Uživatelský vstup 9	E45:L45
Vzorec 10	E25:L25
Vzorec 11	E26:L26
Vzorec 12	E35:L35
Vzorec 13	E36:L36
Vzorec 14	F3:M10
Vzorec 15	N3:N10
Vzorec 16	O3:O10
Vzorec 17	P3:P10
Vzorec 18	Q3:Q10
Vzorec 19	F11:M18
Vzorec 20	N11:N18
Vzorec 21	O11
Vzorec 22	Q11
Vzorec 23	N19

Popis odkazovaných datových oblastí strukturního modelu v naturálních jednotkách:

- Uživatelský vstup – indikuje požadavek na číselné hodnoty ze strany uživatele. Pro zajištění funkčnosti modelu je nutné zadat všechna data (tzn. matici technických koeficientů, objem celkové produkce nebo konečného odbytu a množství odpadů na jednotku produkce každého z výrobních oborů.
- Vzorec 1 – množství výrobního oboru i-tého oboru na výrobu jednotky j-tého výrobního oboru.

„=\$P13\*E2“ až „=\$M20\*E2“

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot X_i$$

- Vzorec 2 – sčítá potřebné množství i-tého oboru na produkci na produkci jednotky každého z výrobních oborů.

„=SUMA(F13:M13)“ až „=SUMA(F20:M20)“

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

- Vzorec 3 – vzorec se uplatňuje pouze v případě, že je zvolena varianta modelu, která počítá objem konečného odbytu na základě zadání celkové produkce a



matice A. V opačném případě se jedná o uživatelský vstup (uživatelský vstup 2).

„=SOUČIN.MATIC(A35:H42-E2:L9;P13:P20)“

$$y = (E - A)x$$

- Vzorec 4 – vzorec se uplatňuje pouze v případě, že je zvolena varianta modelu, která počítá objem celkové produkce na základě zadání konečného odbytu a matice A. V opačném případě se jedná o uživatelský vstup (uživatelský vstup 3).

„=SOUČIN.MATIC(INVERZE(A35:H42-E2:L9);O13:O20)“

$$X = (E - A)^{-1}y$$

- Vzorec 5 – sumarizuje množství r-té emise vyprodukované jednotkou výroby každého z výrobních oborů.

„=SUMA(F21:M21)“ až „=SUMA(F24:M24)“

$$e(g)_r = \sum_{i=1}^n e(g)_{ri}$$

- Vzorec 6 – podává informaci o množství r-té emise vyprodukované celkovou produkcí i-tého výrobního oboru.

„=F21\*\$P13“ až „=M24\*\$P20“

$$E(g)_{ri} = e(g)_{ri} \cdot X_i$$

- Vzorec 7 – suma objemu r-té emise na celkové produkci všech výrobních oborů.

„=SUMA(F25:M25)“ až „=SUMA(F28:M28)“

$$E(g)_r = \sum_{i=1}^n E(g)_{ri}$$

- Vzorec 8 – množství r-tého kapalného odpadu vyprodukovaného jednotkou výroby každého z výrobních oborů.

„=SUMA(F29:M29)“ až „=SUMA(F30:M30)“

$$e(l)_r = \sum_{i=1}^n e(l)_{ri}$$

- Vzorec 9 – suma vzniklého r-tého rozlišovaného tuhého odpadu z výroby jednotky každého z výrobních oborů.

„=SUMA(F31:M31)“ až „=SUMA(F32:M32)“

$$e(s)_r = \sum_{i=1}^n e(s)_{ri}$$

Tabulka 3.9 – Pomocná tabulka modelu pro zadání a výpočet jednotkových nákladů a výnosů implementovaná v MS Excelu

Podnik XYZ	Výrobní náklady (v Kč)							
	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08
	Jednotkové předávací náklady			Vzorec 10				
	Σ ekologických nákladů			Vzorec 11				
	Náklad 1							
	Náklad 2							
	Náklad 3			Uživatelský vstup 7				
	Náklad 4							
	Náklad 5							
	Náklad 6							
Náklad 7								
Náklad 8								
Náklady bez předávacích celkem				Vzorec 12				
Jednotkové náklady				Vzorec 13				
	Prodejní cena (v Kč; bez DPH)							
	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08
Prodejní cena / jednotku			Uživatelský vstup 8					
	Ekologické náklady (v Kč)							
Polutant	SO2	NOX	CO	popílek	TOV	ostatní OV	TTO	ostatní TO
poplatek za jednotku odpadu			Uživatelský vstup 9					

Tabulka 3.10 – Šachovnicová tabulka strukturního modelu v peněžních jednotkách implementovaná v MS Excelu

Podnik			Měrné jednotky	Výrobní spotřeba								Náklady	Příjmy z prodeje	Přidaná hodnota z příjmů	Zisk	
				1	2	3	4	5	6	7	8					
Výrobní obory	1	Výrobní obor 1	j1									Vzorec 15	Vzorec 16	Vzorec 17	Vzorec 18	
	2	Výrobní obor 2	j2													
	3	Výrobní obor 3	j3			Vzorec 14										
	4	Výrobní obor 4	j4													
	5	Výrobní obor 5	j5													
	6	Výrobní obor 6	j6													
	7	Výrobní obor 7	j7													
	8	Výrobní obor 8	j8													
Ekologické char.	Jednotkové emise	emise 1	j9									Vzorec 20	Vzorec21		VZ22	
		emise 2	j10			Vzorec 19										
		emise 3	j11													
		emise 4	j12													
	OV/j	TOV	j17													
		ostatní OV	j18													
	TO/j	TTO	j19													
		ostatní TO	j20													
													VZ23			

## Popis odkazovaných datových oblastí strukturního modelu v naturálních jednotkách:

Vzorce poměrně často odkazují na prvně vytvořený model. Pro větší přehlednost jsou v excelovských vzorcích buňky z předchozího modelu označeny červenou barvou.

Díky dvěma verzím modelu v naturálních jednotkách (při čemž dopředu není známo, který z nich si uživatel vybere) musí být každý vzorec obsahující data některého z těchto modelů ošetřen podmínkou. Jednou z možností, jak podmínka může vypadat je např. součet koeficientů  $x_{ij}$ . Pokud je větší než nula, zvolil uživatel právě tuto variantu modelu. Postup bude účinný samozřejmě pouze v případě, že uživatel vyplní pouze jednu z nabízených možností.

- Uživatelský vstup – stejně jako u první varianty strukturního modelu i zde jsou nároky na vstupy uživatele. Je potřeba zadat náklady na jednotlivé výrobní obory, jednotkovou prodejní cenu bez daně a náklady (poplatky) za jednotku polutantů.
- Vzorec 10 – výpočet předávacích nákladů. Provádí se pro každý i-tý výrobní obor zvlášť.

„=E2\*E36+ F2\*F36+...+ L2\*L36“ až „=E9\*E36+F9\*F36+...+L9\*L36“

$$c_{i-pred} = \sum_{z=1}^n a_{zi} \cdot c_z$$

Je zjevné, že uvedený excelovský vzorec je zbytečně zdlouhavý. Ve výsledném modelu je vyřešen pomocí pomocných mezivýpočtů (list „Předávací C a R“), kde je nejprve matice A transponována a poté je součet součinu nahrazen skalárním součinem transponované matice a vektoru nákladů (funkce SOUČIN.SKALÁRNÍ).

- Vzorec 11 – počítá náklady na množství r-tého odpadu vyprodukovaného celkovým objemem výroby i-tého výrobního oboru.

„=SUMA(F11:F18)“ až „=SUMA(M11:M18)“

$$EC_i = \sum_{r=1}^m (e_{ri} \cdot r_r) \cdot X_i$$

- Vzorec 12 – suma všech nákladů (provozních a ekologických) na celkovou produkci i-tého výrobního oboru.

„=SUMA(E26:E35)“ až „=SUMA(L26:L35)“

$$tc_i = TPC_i + EC_i$$

- Vzorec 13 – celkové jednotkové náklady (tzn. s předávacími) na výrobu i-tého výrobního oboru.

$$\text{„=E35/P13“ až „=L35/P20“}$$

$$c_i = \frac{tc_i}{X_i}$$

- Vzorec 14 – náklady na i-tý výrobní obor očištěné o předávací na celkový objem produkce j-tého výrobního oboru.

$$\text{„=F13*($E36-$E25)“ až „=M20*($L36-$L25)“}$$

$$C_{ij} = x_{ij} \cdot C_i$$

- Vzorec 15 – udává součet nákladů za jednotlivé výrobní obory očištěných od předávacích nákladů.

$$\text{„=SUMA(F3:M3)“ až „=SUMA(F10:M10)“}$$

$$TC_i = \sum_{i=1}^n C_{ij}$$

- Vzorec 16 – příjmy z prodeje každého z n výrobních oborů.

$$\text{„=O13*E42“ až „=O20*L42“}$$

$$tr_i = P_i y_i$$

- Vzorec 17 – příjmy z prodeje rozpočítané dle přidané hodnoty každého z výrobních oborů, neboli jakou částkou se podílí výrobní obory na konečném odbytu podniku.

$$\text{„=P13*(E$42-(E2*E$42+E3*F$42+...+E9*L$42)“ až}$$

$$\text{„=P20*(L$42-(L2*E$42+L3*F$42+...+L9*L$42)“}$$

$$TR_i = X_i \cdot (P_i - r_{i-pred})$$

$$\text{, kde } r_{i-pred} = \sum_{z=1}^n a_{zi} \cdot P_z$$

- Vzorec 18 – zisky firmy rozpočítané dle přidané hodnoty každého z výrobních oborů, neboli jakou částkou se podílí výrobní obory na zisku podniku. Tento ukazatel je rozdílem výnosů a nákladů s odečtenými předávacími hodnotami.

$$\text{„=P3-N3“ až „=P10-N10“}$$

$$TP_i = TR_i - TC_i$$

- Vzorec 19 – náklady na poplatky za r-tou emisi při výrobě i-tého oboru.

„=F25\*E\$45“ až „=M28\*H\$45“

$$EC_{ri} = e_{ri} \cdot r_r \cdot X_i$$

- Vzorec 20 – celkové náklady na poplatky za r-tou emisi při výrobě všech oborů.

„=SUMA(F11:M11)“ až „=SUMA(F18:M18)“

$$EC_r = \sum_{i=1}^n EC_{ri}$$

- Vzorec 21 - celkové příjmy firmy z prodeje všech oborů.

„=SUMA(O3:O10)“

$$TR = \sum_{i=1}^n tr_i = \sum_{i=1}^n TR_i$$

- Vzorec 22 – celkový zisk firmy z prodeje produktů.

„=SUMA(Q3:Q10)“

$$TP = \sum_{i=1}^n TP_i$$

- Vzorec 23 – celkové ekologické náklady na výrobu.

„=SUMA(N11:N18)“

$$EC = \sum_{r=1}^m EC_r$$

Aby měl uživatel usnadněnou práci a orientaci, jsou buňky v modelu barevně rozlišeny dle požadovaného vstupu - požadavek na číselný vstup žlutou barvou, požadavek na nečíselný vstup barvou modrou a automaticky počítané pole je ponecháno bez výplně. Jako prevenci před poškozením vzorců a vazeb jsou všechny automaticky počítané oblasti uzamčeny, a tudíž chráněny proti přepisu.

Názvy výrobních oborů a odpadů se svými jednotkami jsou všechny přejímány z primární zadávací tabulky (Tabulka 3.5), uživatel tak bude ušetřen redundantnímu zadávání dat.

### 3.3 Optimalizační model lineárního programování

Většinu podkladů pro optimalizaci poskytuje sestrojený strukturní model. Samotnou optimalizaci zvládne tabulkový procesor Excel sám. Je zapotřebí pouze vhodně navrhnout model tak, aby optimalizoval požadovanou funkci a zároveň se držel omezení, které nastavuje např. poptávka na daném trhu, technologické možnosti nebo legislativa.

Model vyžaduje základní tři prvky, a sice účelovou funkci (popř. soustavu účelových funkcí v případě VLP), soustavu podmínek vlastního omezení a podmínky nezápornosti.

Nejjednodušší je určení podmínek nezápornosti neznámých proměnných modelu. Jelikož má model optimalizovat výši výroby, je hledanou neznámou vektor  $x$ , který obsahuje údaje o produkci všech oborů. Z logiky věci vyplývá, že úroveň produkce nemůže klesnout do záporných hodnot a tudíž je její minimální přípustná hodnota rovna nule. Podmínky nezápornosti proto budou mít tvar  $x_i \geq 0$ , kde  $i$  zahrnuje všechny obory ze strukturního modelu.

Podstatně složitější je situace okolo účelové funkce. Je zřejmé, že je nutné maximalizovat zisk, jakožto jeden z hlavních (mnohdy ten nejdůležitější) cílů firem. Jako zdroj dat zde bude využit strukturní model ve finančních jednotkách, odkud lze snadno dopočítat výnosy z prodeje jednotlivých produktů, stejně jako jednotkové náklady spojené s produkcí. Jednotkový zisk potřebný pro účelovou funkci je vyjádřen prostým rozdílem výnosů (očištěných od předávacích výnosů) z prodané jednotky produkce ( $R_i$  = revenues) a jednotkových nákladů zmenšených o předávací náklady ( $C_i$  = costs). Účelová funkce maximalizující zisk z produkce  $n$  výrobních oborů má pak tvar:

$$\sum_{i=1}^n (R_i - C_i) \cdot X_i \rightarrow \max^4 \quad (3.1)$$

V tuto chvíli je zajištěna ekonomická efektivnost, ale ještě není nijak zachycena ekologická složka. Zde se nabízejí dvě možnosti – buďto do modelu přidat další účelovou funkci minimalizující ekologické náklady a přejít tak od úlohy monokriteriálního programování k úloze vícekriteriální, nebo faktor životního prostředí zahrnout pouze do omezujících podmínek, tím pádem bych optimalizoval pouze podle maximálního zisku. Je nutné si obě varianty rozebrat a porovnat pozitiva i problémy, které s sebou nesou a pak teprve rozhodnout o dalším postupu.

---

<sup>4</sup> Druhou možností je počítat s jednotkovými ukazateli včetně předávacích hodnot. V tomto případě by však v účelové funkci místo celkové produkce musel být konečný odbyt a výsledkem optimalizace by pak byl vektor  $y$ .

Varianta se zakomponovanou ekologickou složkou do účelové funkce má tu výhodu, že staví obě stránky věci, jak množství odpadů, tak zisky firmy, na stejnou úroveň. To znamená, že už při konstrukci modelu, není předem rozhodnuto, který z těchto dvou cílů je preferován. Na druhou stranu přechodem k vícekriteriální úloze se modelující subjekt vždy vystavuje do situace, ve které musí jednotlivé optimalizační funkce subjektivně ohodnotit vahami a přiřadit jim tak jistou míru důležitosti na úkor funkcí ostatních. Tím se ovšem výhoda zmíněná výše značně snižuje. Pochopitelně by bylo možné během simulace váhové ohodnocení operativně měnit, takže by model nebyl až tolik svázán, ovšem na druhé straně by byl uživatel modelu zase nucen řešit dilema profit versus společenská odpovědnost. Tento problém ale bohužel není jediný. Další peripetie by nastaly při snaze formulovat účelovou funkci právě tak, aby byly minimalizovány ekologické náklady. Při formulaci předpisu ziskové funkce (3.1), byla situace výrazně snazší – z čistě ekonomického hlediska je totiž nepodstatné, jestli dodatečná jednotka zisku vznikne produkcí prvního, nebo i-tého výrobního oboru. Avšak to, zda vyprodukujeme navíc jednotku vysoce toxického uhlovodíku, nebo oxidu uhelnatého, jehož dopady jsou v dané koncentraci nepoměrně nižší, už ale podstatné je. Proto by bylo, za předpokladu, že význam všech polutantů není totožný (což je nanejvýš předpokladatelné), nutné buďto váhově ošetřit jednotlivé odpady koeficienty v předpisu účelové funkce, nebo vytvořit právě tolik účelových funkcí, kolik je v modelu znečišťujících látek (což by při jejich vyšším počtu vedlo k nepříjemné nepřehlednosti a navíc bychom se opět dostali k problému, který přináší vícekriteriální lineární programování – k subjektivnímu pohledu ze strany modelující osoby). Ve výsledku by tedy docházelo dokonce k dvojímu postupnému subjektivnímu ovlivnění výsledků modelu.

Druhá možnost, tedy jedna účelová funkce maximalizující ekonomický užitek, je o poznání více deterministická. Pokud bude ekologický faktor zahrnut pouze do omezujících podmínek, které jsou stanoveny v legislativě, budou eliminovány všechny zmíněné problémy předchozí varianty. Na druhou stranu je velkou nevýhodou, že v modelu jednoznačně převáží ekonomický záměr, který je v tomto případě antagonistický vůči životnímu prostředí. Nicméně právní normy, pokud jde o produkci odpadů, budou beze zbytku na výstupu vždy dodrženy, takže pak už je zodpovědnost spíše na straně státu a vládních a mezinárodních organizací, aby tlakem a právními předpisy zavedly přísnější limity.

Když porovnám klady a nedostatky obou alternativ, přikláním se k té druhé z nich. Ovlivnění výsledků subjektivním rozhodnutím uživatele by mohlo být u vícekriteriální varianty podle mého názoru značně nepřiměřené, a pokud má být model kvalitním nástrojem

pro podporu rozhodování, je vhodné akceptovat problémy zvolené alternativy a ekologické náklady zařadit pouze do omezujících podmínek. Navíc případným zpřísněním limitů ze strany uživatele modelu nad rámec právních předpisů by do jisté míry šlo váhové ohodnocení více funkcí nasimulovat.

Zbývá vyřešit ještě poslední část modelu, a sice podmínky vlastního omezení. Zde je zapotřebí rozlišit ekologické a ekonomické restriktce.

Ekologické limity už byly zmíněny. Jsou stanoveny legislativou naší země a při jejich překročení by došlo k přísným sankcím ze strany státu. Ze strukturního modelu je známo, jaký objem  $r$ -tého polutantu se vyprodukuje z jedné jednotky  $i$ -tého výrobního oboru ( $e_{ri}$ ). Limit  $r$ -tého polutantu ( $k_r$ ) je zapotřebí zadat do modelu explicitně – tento údaj není obsažen ve strukturním modelu. Soustavu nerovnic potom lze zapsat ve tvaru:

$$\sum_{i=1}^n e_{ri} x_i \leq k_r, r = 1, 2, \dots, m$$

, kde  $m$  je počet polutantů v modelu.

Na ekonomická omezení lze pohlížet ze dvou pohledů – na limity stanovené kapacitami a limity stanovené byznysem.

Výrobní kapacity jsou determinovány zejména lidským a technologickým kapitálem. Je pochopitelné, že nelze v praxi vyrobit v určitém časovém intervalu libovolné množství produktů. Maximální množství produkce ( $x_i^{\max}$ ) bude explicitně zadávat uživatel optimalizačního modelu – strukturní model tato data neobsahuje.

$$Ax \leq x^{\max}$$

Bylo by možné počítat také se skladovými kapacitami, ale dle mého názoru je zbytečné model dále zbytnovat tímto údajem v podobě nové soustavy nerovnic. Vzhledem k tomu, že se maximální výroba při výrobních kapacitách zadává explicitně jako konstanta, není problém, toto omezení vztáhnout souhrnně na oba typy kapacit.

Poslední restriktce, které je třeba vzít do úvahy je ryze obchodní. Má-li modelovaná firma v současné době už vybudovanou jistou pozici na trhu, kde působí, a tudíž pokrývá jistou část tržní poptávky, která je zachycena ve strukturním modelu jako vektor  $y$  (konečný odbyt). Vyrábět takové množství produktů, které by nepokrylo ani tuto současnou poptávku, by bylo iracionální, a proto v modelu tvoří spodní hranici při optimalizaci. Zde už uživatel nemusí nijak zasahovat, všechny potřebné údaje jsou obsaženy už ve strukturním modelu.

$$By \leq x$$



Tento tvar je ještě vhodné upravit do standardního tvaru, ve kterém jsou proměnné na levé straně a konstanta na pravé:

$$x \geq By$$

Nyní jsou všechny prvky modelu připraveny a zbývá je už jen implementovat v tabulkovém procesoru Excel.

### 3.3.1 Implementace optimalizačního modelu v MS Excel

Tabulkový procesor Excel má tu velkou výhodu, že má v sobě zabudovaného řešitele mnoha matematických úloh, mezi nimi také těch z oboru matematického programování. Stačí tedy jen připravená data v modelu převést do požadovaného tvaru a Excel konstruktéra modelu zbaví nutnosti aplikace zdoluhavých a na uživatelské chyby poměrně náchylných metod jako např. simplexové metody (kapitola 2.2.3.2). Na druhou stranu je potřebný zápis pro výpočet pro uživatele, který excelovského řešitele nezná, nebo ho nikdy nepoužil, velmi nepřehledný a orientace v něm je dost obtížná. Proto bude v modelu zavedena jak standardizovaná podoba pro řešitele (Tabulka 3.13), tak také standardní matematický zápis pomocí rovnic a nerovnic, který umožní uživateli lépe porozumět struktuře modelu a usnadnit mu orientaci v něm (Tabulka 3.12).

Jediná data, která dosud nejsou pro optimalizační model k dispozici a tudíž je nelze přejmout z modelu strukturního, jsou kapacity – výrobní a ekologické. Bylo by možné jejich zadání od uživatele požadovat přímo do optimalizačního modelu, avšak vzhledem k tomu, že na prvopočátku tvorby celé aplikace byl vytvořen speciální list pro zadávání výrobních oborů, odpadů a jejich jednotek (Tabulka 3.5), byla by škoda nevyužít pro kapacitní konstanty právě tohoto listu a tříštit tak zbytečně uživatelské vstupy do dalších částí modelu. Po úpravě vypadá zadávací tabulka následovně:

Tabulka 3.11 - Upravená Tabulka 3.5 o kapacitní koeficienty

Podnik	Název		Jednotky	Výrobní kapacita
Výrobní obory	1	výrobní obor 1	j1	vk1
	2	výrobní obor 2	j2	vk2
	3	výrobní obor 3	j3	vk3
	4	výrobní obor 4	j4	vk4
	5	výrobní obor 5	j5	vk5
	6	výrobní obor 6	j6	vk6
	7	výrobní obor 7	j7	vk7
	8	výrobní obor 8	j8	vk8
				Limity
Ekologické charakteristiky	Emise	emise 1	j9	el1
		emise 2	j10	el2
		emise 3	j11	el3
		emise 4	j12	el4
	OV	emise 5	j13	xxx
		emise 6	j14	xxx
	TO	emise 7	j15	xxx
		emise 8	j16	xxx

Ekologické limity jsou určeny pouze pro emise. Ostatní odpady přináší pouze omezení v podobě variabilních poplatků (viz Uživatelský vstup 9 finančního strukturního modelu).

### Matematicky znázorněný model v prostředí MS Excel (Tabulka 3.12)

Koeficienty účelové funkce tvoří jednotkový zisk  $(R_i - C_i)$ .<sup>5</sup> Značka „max“ za předpisem funkce signalizuje cíl maximalizovat hodnotu.

Levé strany nerovnic podmínek vlastního omezení tvoří proměnné zastupující výrobní obory se svými koeficienty. U poptávkových a výrobních limitů reprezentuje vždy jedna nerovnice omezení pro právě jeden výrobní obor a je tudíž možné koeficienty zadat přímo do modelové šablony (pro každý z obou typů omezení se jedná o jednotkovou matici stupně  $n$ , kde  $n$  je počet oborů). U emisních omezení tvoří koeficienty levých stran nerovnic matice hodnot  $e_{ri}$  (množství  $r$ -té emise vzniklé při produkci jedné jednotky  $i$ -tého výrobního oboru).

Pravé strany nerovnic (samotné omezující konstanty) se přebírají v případě výrobních kapacit ze strukturního modelu (vektor  $X_i$ ) a u ostatních podmínek vlastního omezení z uživatelsky zadaných vstupů (viz Tabulka 3.10).

<sup>5</sup> U optimalizačního modelu již neuvádím excelovský zápis vzorců. Jedná se pouze o elementární matematické operace s hodnotami strukturního modelu.

**Tabulka 3.12 – Matematicky vyjádřený optimalizační model v prostředí MS Excel**

ÚF	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 +$	$x_5 +$	$x_6 +$	$x_7 +$	$x_8 \rightarrow \max$
PVO dané poptávkou	$1 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$1 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$1 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$1 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$1 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$1 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$1 x_7 +$	$0 x_8 \geq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$1 x_8 \geq$
PVO dané výrobními kapacitami	$1 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$1 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$1 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$1 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$1 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$1 x_6 +$	$0 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$1 x_7 +$	$0 x_8 \leq$
	$0 x_1 +$	$0 x_2 +$	$0 x_3 +$	$0 x_4 +$	$0 x_5 +$	$0 x_6 +$	$0 x_7 +$	$1 x_8 \leq$
PVO dané emisními limity	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 +$	$x_5 +$	$x_6 +$	$x_7 +$	$x_8 \leq$
	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 +$	$x_5 +$	$x_6 +$	$x_7 +$	$x_8 \leq$
	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 +$	$x_5 +$	$x_6 +$	$x_7 +$	$x_8 \leq$
	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 +$	$x_5 +$	$x_6 +$	$x_7 +$	$x_8 \leq$

Podmínky nezápornosti	$x_1 \geq 0$
	$x_2 \geq 0$
	$x_3 \geq 0$
	$x_4 \geq 0$
	$x_5 \geq 0$
	$x_6 \geq 0$
	$x_7 \geq 0$
	$x_8 \geq 0$

### Optimalizační model ve tvaru pro řešitele MS Excel

Potřebný tvar je zachycen v Tabulce 3.13. Bílé jsou vyznačeny buňky, jejichž hodnoty se přeberou z příslušných polí matematického vyjádření. Barevné buňky pak indikují pole, do kterých Excel vyplní optimalizované hodnoty:

- Vektor  $x$  – Zde se po provedení optimalizace zobrazí vektor celkové produkce  $x$ .
- Zisk – Aby bylo možné spustit řešitele, musí se do buňky vložit vzorec, který vypočítá skalární součin vektoru  $x$  a koeficientů účelové funkce. Na výstupu po optimalizaci vrátí funkční hodnotu účelové funkce pro hodnoty vektoru  $x$ .

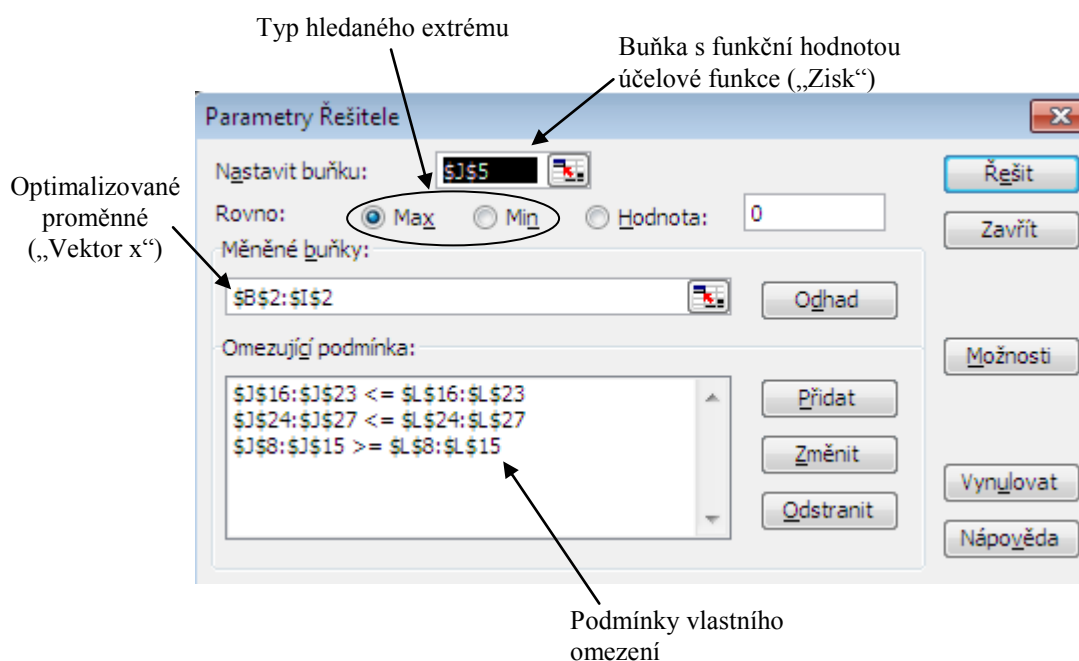
- Sloupec  $n \cdot x$  – Rovněž jako u buňky se ziskem je zapotřebí vložit do buněk vzorec se skalárním součinem – tentokrát součin vektoru  $x$  a koeficientů levých stran podmínek vlastního omezení.

Tabulka 3.13 – Optimalizační model ve tvaru pro řešitele MS Excel

	výrobní obor 1	výrobní obor 2	výrobní obor 3	výrobní obor 4	výrobní obor 5	výrobní obor 6	výrobní obor 7	výrobní obor 8			
Vektor $x$											
										zisk	
UF:	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	
	Vektory koeficientů rovnic PVO ( $n$ )								$n \cdot x$	Konstanty PVO	
PVO dané poptávkou	1	0	0	0	0	0	0	0			
	0	1	0	0	0	0	0	0			
	0	0	1	0	0	0	0	0			
	0	0	0	1	0	0	0	0			
	0	0	0	0	1	0	0	0			
	0	0	0	0	0	1	0	0			
	0	0	0	0	0	0	1	0			
	0	0	0	0	0	0	0	1			
PVO dané výrobními kapacitami	1	0	0	0	0	0	0	0			
	0	1	0	0	0	0	0	0			
	0	0	1	0	0	0	0	0			
	0	0	0	1	0	0	0	0			
	0	0	0	0	1	0	0	0			
	0	0	0	0	0	1	0	0			
	0	0	0	0	0	0	1	0			
	0	0	0	0	0	0	0	1			
PVO dané emisním	0	0	0	0	0	0	0	0			
	0	0	0	0	0	0	0	0			
	0	0	0	0	0	0	0	0			
	0	0	0	0	0	0	0	0			

V tuto chvíli lze přistoupit k samotnému řešení úlohy matematického programování. Řešitele je nutné nejdříve nainstalovat jako doplněk z instalačního disku produktu. Po instalaci jej lze vyvolat v menu „Nástroje“ pod položkou „Řešitel“ (ve verzích MS Office 2007 a novějších pak v záložce „Data“). Zobrazí se dialogové okno (Obrázek 3.3). Po zadání všech nastavujících parametrů se tlačítkem „Řešit“ spustí optimalizace.

**Obrázek 3.3 - Dialogové okno řešitele MS Excel**



## Prezentace výsledků optimalizace

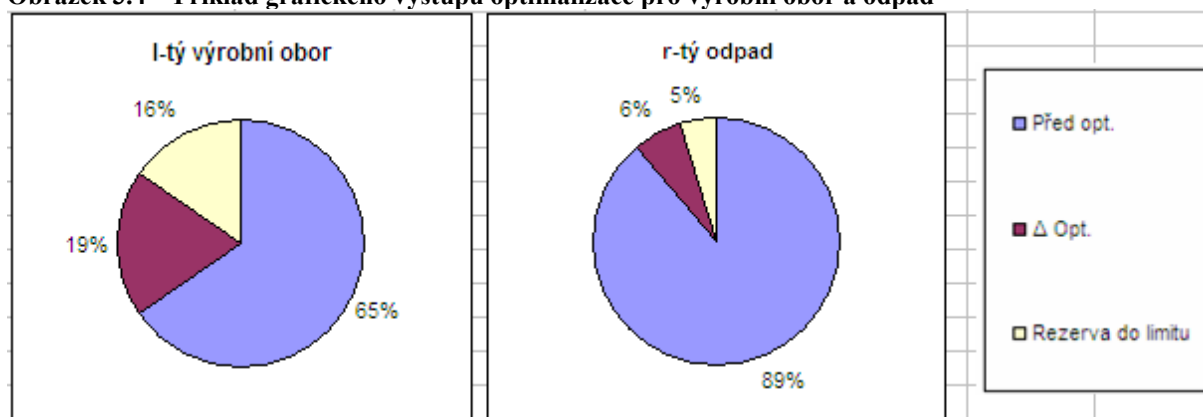
Jedna z nejdůležitějších součástí celého modelu je prezentace a interpretace výsledků. Byla zvolena kombinace prezentace textové a grafické. V tabulce výsledků (Tabulka 3.14) je uživatel informován, jaký je zisk a produkce výrobků a odpadů po optimalizaci, a jak se tyto ukazatele změnily v porovnání s původním stavem.

Grafy vztahující se ke každému z výrobních oborů a polutantů zase přehledně znázorňují, kolik procent z nastavených limitů tvořila původní produkce, kolik % tvoří optimalizovaný rozdíl a kolik procent z určených omezujících podmínek je ještě možné vyčerpat (Obrázek 3.4).

**Tabulka 3.14 – Interpretace výsledků optimalizace**

Původní zisk							
Optimalizovaný zisk							
$\Delta$ Zisk (Kč)							
$\Delta$ Zisk (%)							
<b>Výrobní obory</b>	Před Opt. (j)	Po Opt. (j)	$\Delta x_i$ (j)	$\Delta x_i$ (%)	$\Delta$ zisk z $x_i$	% z kapacit	
výrobní obor 1							
výrobní obor 2							
výrobní obor 3							
výrobní obor 4							
výrobní obor 5							
výrobní obor 6							
výrobní obor 7							
výrobní obor 8							
<b>Emise</b>	Před Opt. (j)	Po Opt. (j)	$\Delta s_i$ (j)	$\Delta s_i$ (%)	% z limitu		
emise 1							
emise 2							
emise 3							
emise 4							

**Obrázek 3.4 – Příklad grafického výstupu optimalizace pro výrobní obor a odpad**



Bylo by samozřejmě možné vytvořit spoustu dalších výstupů, které by mohly mít význam pro přijetí potřebného rozhodnutí, pro které byl model použit. Tyto výstupy se mohou lišit s každou implementací modelu do konkrétní společnosti a proto je jejich volba nad rámec, který byl v šabloně zahrnut, ponechán na koncových uživateli.

## 4. Ověření modelu na datech konkrétní společnosti

Nyní, když byla tvorba eko-eko modelu dokončena, je zapotřebí provést jeho verifikaci. Vzhledem k tomu, že v daném podniku (a ani v ostatních největších moravských průmyslových společnostech neexistuje optimalizační model, který by zahrnoval ekologické charakteristiky (v drtivé většině z nich neexistuje optimalizační model vůbec žádný) [14], nebude možné výsledky druhé části modelu příliš ověřit. Validace se tedy bude více týkat strukturního modelu, kde mohlo dojít k opomenutí některých dat nebo jiným drobným chybám. V tomto případě by bylo nutné provést korekce šablony modelu.

U optimalizačního modelu bude posuzována smysluplnost jeho výstupů a následně modelové optimum porovnáno s realitou.

Společnost, která pro tuto práci poskytla potřebné podklady, chce zůstat, vzhledem k použitým citlivým údajům, v anonymitě. Z tohoto důvodu bude dále jmenována jako „Podnik XYZ“. Vzhledem ke skutečnosti, že podniků s uvedenými výrobními obory je v celé republice jen velmi málo, budou data navíc úmyslně deformována.

### 4.1 Implementace modelu na podnik XYZ

Společnost XYZ podnikající v hutním průmyslu mi poskytla pro implementaci modelu následující informace [14]:

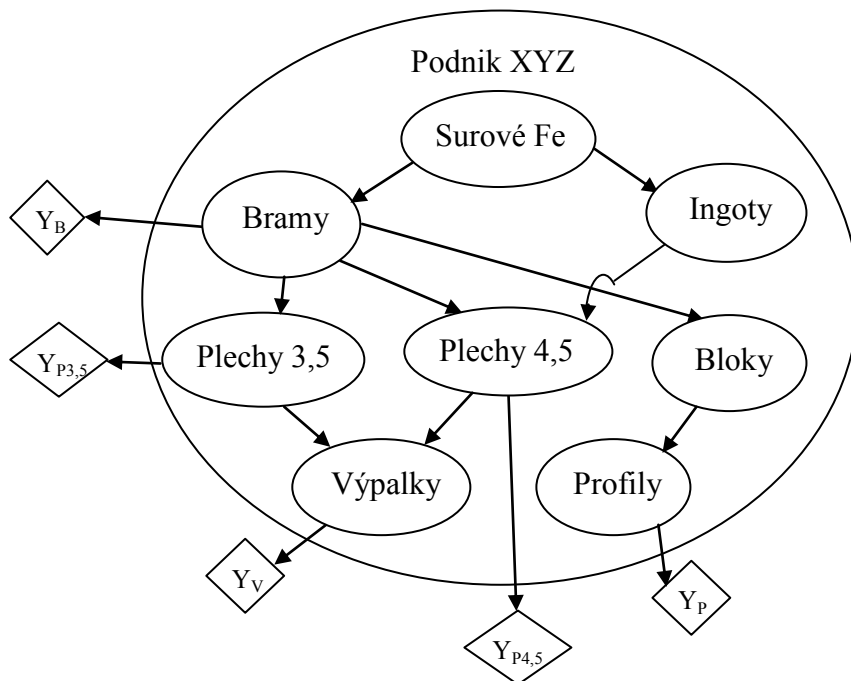
- Soubor svých výrobních oborů.
- Matici technických koeficientů  $A$  nad těmito obory.
- Objem konečného odbytu výrobků.
- Objemy vyprodukovaného odpadu.
- Strukturu a výši nákladů na produkci.
- Odběratelskou cenu svých výrobků.
- Měrné jednotky výrobních oborů.
- Výrobní kapacity výrobních oborů.

K dispozici jsou tedy všechna základní data pro celý model, ostatní potřebné údaje z nich lze dopočítat, jako např. data prvního kvadrantu a objem celkové produkce do strukturního modelu.

Pro lepší primární orientaci ve fungování systému slouží obrázek 3.3. Ve schématu chybí odpadní látky, protože každý z polutantů je produkován každým výrobním oborem.

Jejich zaznamenání by tedy bylo do jisté míry zbytečné a navíc by změtí vazeb výrazně utrpěla přehlednost obrázku.

**Obrázek 3.3 - Schéma strukturního modelu společnosti XYZ**



Kompletní dokumentaci verifikace modelu na společnosti XYZ přikládám jako přílohu k této práci (Přílohy 1-9).

## 4.2 Výsledky implementace modelu na podnik XYZ

Po dopočítání potřebných dat ve strukturní části a po provedení optimalizace byly zjištěny následující výsledky. Největší zisk bude společnost generovat, pokud zvýší produkci železa, ingotů a kvart o objemy uvedené v tabulce 4.1. Nárůst zisku oproti původnímu pak bude o více než 7 %. Produkce všech emisí při tom budou mírně zvýšeny, ale jen v rámci stanovených limitů. U všech emisí kromě popílku dokonce zbudou do těchto limitů ještě jisté rezervy.



**Tabulka 4.1 – Výsledky optimalizace**

Původní zisk (tis. Kč)	3534896,89
Optim. zisk (tis. Kč)	3786044,23
$\Delta$ Zisk (tis. Kč)	251147,34
$\Delta$ Zisk (%)	7,10

<b>Výrobní obory</b>	Před Opt.	Po Opt.	$\Delta x_i (j)$	$\Delta x_i (\%)$	$\Delta$ zisk z $x_i$	% z kapacit
Surové železo	651801,99	729573,28	77771,29	11,93	171316	72,96
Bramy	831602,45	831602,45	0,00	0,00	0	92,40
Ingoty	38399,92	40000,00	1600,08	4,17	6216	100,00
Bloky	95382,00	95382,00	0,00	0,00	0	95,38
Plechý 4,5	49999,89	49999,89	0,00	0,00	0	50,00
Plechý 3,5	608599,97	700000,00	91400,03	15,02	73616	100,00
Profily	90000,00	90000,00	0,00	0,00	0	100,00
Výpalky	11800,00	11800,00	0,00	0,00	0	98,33

<b>Emise</b>	Před Opt.	Po Opt.	$\Delta s_i (j)$	$\Delta s_i (\%)$	% z limitu
SO <sub>2</sub>	1591076,18	1766019,13	174942,96	11,00	88,30
NO <sub>X</sub>	2032982,04	2200767,66	167785,62	8,25	88,03
CO	63082076,26	64056509,73	974433,47	1,54	91,51
popílek	847710,79	900000,00	52289,21	6,17	100,00

## 5. Zhodnocení výsledků vypracovaného modelu

Navzdory už jednou zmíněnému faktu, že data byla pro prezentaci v diplomové práci úmyslně deformována, a tudíž jsou mírně zkresleny i samotné výsledky, je závěr aplikace modelu v případě reálných dat velmi obdobný. Podnik v současnosti nedosahuje svého ziskového maxima a může se na něj dostat zvýšením produkce příslušných výrobních oborů o potřebné objemy.

Přínosy modelu pro firmu lze rozlišit do dvou skupin – přímé přínosy, které pro podnik znamenají účetně doložitelné úspory nebo výnosy a nepřímé přínosy, které touto cestou naopak zaznamenat nelze.

Mezi přímé přínosy patří nárůst zisku po optimalizaci výroby. Uvážíme-li, že podnik svůj profit navýší v řádech několika procent, tak při stomilionových, až miliardových částkách, ve kterých se podnik pohybuje, je toto navýšení podstatné (u podniku XYZ v řádech set milionů). Dále je zapotřebí si uvědomit, že ekologické limity nejsou stanovovány na dlouhé časové období a mohou se prakticky každoročně měnit. Model je schopný na tyto změny pružně reagovat a při jakýchkoli hodnotách vždy ukázat cestu k maximálnímu zisku. Navíc v lokalitách s velmi špatným ovzduším, jako je např. Ostravsko-Karvinsko, může docházet (a také dochází) k multilaterálním smlouvám a dohodám mezi průmyslovými podniky, popř. mezi podniky a úřady, které zúčastněné subjekty zavazují k omezení produkce emisí v období, kdy je vyhlášena smogová regulace a je zapotřebí flexibilně ekologické limity stlačit hluboko pod obecně nařízené limity státem. Tyto krátkodobé změny jsou potenciálně hodně náchylné k ekonomické neefektivnosti, aplikací eko-eko modelu se jim však lze snadno vyhnout.

Zmíněné dohody při krizových situacích stavu ovzduší jsou zdrojem také přínosů nepřímých. Pružná reakce na požadované změny při zajištění maximální ekonomické efektivnosti může firmy motivovat uzavírat více takovýchto dohod, popř. jejich rozsah rozšiřovat. Tím také dojde ke snížení vypouštěných polutantů do ovzduší a to zejména tehdy, kdy je to nejvíce zapotřebí. Při správné mediální prezentaci eko-eko modelu podnikem, může mít model pozitivní vliv na vnímání podniku ze strany veřejnosti, což je zejména v silně znečištěných oblastech velmi žádoucí.

Stejně jako přínosy, lze rozdělit i náklady na přímé a nepřímé. Přímé náklady jsou v tomto případě zanedbatelné – jedná se pouze o potřebný hardware a software. Vzhledem k tomu, že je model implementován v prostředí MS Excel, lze důvodně předpokládat, že

cílová firma jak softwarové, tak hardwarové požadavky splňuje ještě před tím, než se model rozhodne využít. Pokud by tomu tak náhodou nebylo, tak jedna licence MS Office pro komerční užití je dostupná do 10000 Kč, což je vzhledem k předpokládaným přínosům jen zlomková částka. Nepřímé náklady jsou už výraznější. Tak, jak vyplývá z výsledků optimalizace výroby podniku XYZ, dojde při zvýšení objemu výroby také logicky ke zvýšení množství produkovaných emisí, které zhoršují životní prostředí a mají neblahý vliv na celou řadu ekosystémů (kapitola 2.3).

## 6. Závěr

V mé práci se mi podařilo sestrojít šablonu eko-eko modelu pro průmyslové společnosti. Původně stanovený cíl předpokládal optimalizaci jak ekonomické, tak i ekologické složky. To by však nutně vyžadovalo užití metod vícekriterálního programování, jež se nakonec ukázaly být pro sestrojovaný model, jako pro spolehlivý prostředek podpory v rozhodování, vysoce problematické a nevhodné. Proto jsem přistoupil ke korekci samotného principu modelu – optimalizován byl pouze zisk na základě pevně určených omezujících podmínek, mezi které byla zařazena také ekologická složka. Ekologická zodpovědnost je tak v rukou státu, jakožto autora předpisů obsahujících emisní a jiné životní prostředí chránící limity, anebo může mít formu dobrovolných dohod a smluv mezi podniky (popř. mezi podniky a jednotkami státní správy) o snížení objemu vypouštěných odpadů (zejména v době vyhlášené smogové regulace).

Přes tuto drobnou korekci hodnotím svou práci, také na základě výsledků testování modelu na datech firmy XYZ, velmi kladně a věřím, že se vzniklý model může stát spolehlivým nástrojem v rukou manažerů, a že jim bude nápomocen při rozhodování.

## Použitá literatura

- [1] BAŇAŘOVÁ, J. *Rozhodování manažera*. (přednáška) Ostrava : VŠB- Technická univerzita Ostrava, fakulta ekonomická, 12.3.2009.
- [2] BERNAKE, B; FRANK, R. *Ekonomie*. Praha: Grada Publishing, 2003. 803 s. ISBN 978-80-247-0471-5.
- [3] CENIA. *Přehled poplatků a daní v ČR souvisejících s ochranou životního prostředí* [online], [cit. 2010-08-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFV3DEIF/\\$FILE/poplatky\\_dane\\_CR\\_web\\_akt\\_2011.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFV3DEIF/$FILE/poplatky_dane_CR_web_akt_2011.pdf)>.
- [4] DOLNÝ, A. *Ekologie I*. Ostrava: Ostravská universita v Ostravě, 2005. 162 s. ISBN 80-7368-088-2.
- [5] DUVIGNEAUD, P. *Ekologická syntéza*. Praha: Academia, 1988. 414 s.
- [6] HOLMAN, R. *Makroekonomie : středně pokročilý kurz*. Praha: C. H. Beck, 2010. 424 s. ISBN 978-80-7179-861-3.
- [7] HOLMAN, R. *Mikroekonomie : středně pokročilý kurz*. Praha: C. H. Beck, 2007. 592 s. ISBN 978-80-7179-862-0.
- [8] HUŠEK, R.; MAŇAS, M. *Matematické modely v ekonomii*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. 404 s. ISBN 80-03-00098-X.
- [9] CHUCHRO, J.; VLČEK, D. *Modely a modelování*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1999. 207 s. ISBN 80-7078-621-3.
- [10] CHUCHRO, J. *Modely a modelování*. (přednáška) Ostrava : VŠB- Technická univerzita Ostrava, fakulta ekonomická, 21.11.2007.

- [11] JABLONSKÝ J. *Materiály k přednášce: Vícekriteriální a cílové programování* [online]. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, [cit. 2010-08-02]. Dostupný z WWW: <<http://nb.vse.cz/~jablon/doc/vkr.pdf>>.
- [12] KALUŽA, J.; KALUŽOVÁ, L.; MAŇASOVÁ, Š. *Informatika*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. 167 s. ISBN 978-80-248-1293-9.
- [13] KRÍŽOVÁ, A. *Teorie organizace*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2000. 115 s. ISBN 80-7078-956-5.
- [14] Materiály poskytnuté firmou ESAP.
- [15] NEMHAUSER, G. a kolektiv. *Optimization*. Amsterdam: North-Holland, 1989. 709 s. ISBN 0-444-87284-1.
- [16] PLEVNÝ, M. *Používání optimalizačních metod v praxi. E+M*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2/2004. ISSN 1212-3609.
- [17] PROCHÁZKA, M. *Možnosti využití operačního výzkumu ve zdravotnické službě AČR: disertační práce*. Brno: Masarykova univerzita, 105 s.
- [18] ZONKOVÁ, Z. a kolektiv. *Operační výzkum*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 223 s. ISBN 80-7078-188-2.

## Seznam vysvětlivek a zkratek

$a_{ij}$  = množství i-tého oboru na jednotku produkce j-tého oboru (technický koeficient)

$A$  = matice technických koeficientů

$B$  = matice komplexní spotřeby

$C_i$  = jednotkové náklady na i-tý obor očištěné od předávacích

$c_i$  = náklady (včetně předávacích) na jednotku produkce i-tého oboru

$c_{i-pred}$  = jednotkové předávací náklady na jednotku produkce i-tého výrobního oboru

CP = celková produkce

$e_r$  = produkce r-tého polutantu z jedné jednotky každého z výrobního oboru

$E_r$  = množství r-tého odpadu z objemu celkové produkce všech výrobních oborů

$e_{ri}$  = produkce r-tého polutantu z jedné jednotky i-tého výrobního oboru

Eko-eko = ekonomicko-ekologický

$EC_i$  = jednotkové ekologické náklady na produkci i-tého oboru

$ETC_i$  = celkové ekologické náklady na produkci i-tého výrobního oboru

KO = konečný odbyt

LP = lineární programování

$m$  = počet polutantů

$n$  = počet výrobních oborů

MLP = monokriteriální lineární programování

OV = odpadní vody

$P_i$  = prodejní cena jednotky i-tého výrobního oboru bez DPH

$R_i$  = jednotkové výnosy z i-tého oboru očištěné od předávacích výnosů

$r_{i-pred}$  = jednotkové předávací výnosy pro i-tý výrobní obor

$r_r$  = jednotková cena r-tého odpadu

$tc_i$  = celkové náklady na výrobu celkové produkce i-tého oboru (včetně předávacích)

$TC_i$  = celkové náklady na výrobu celkové produkce i-tého oboru očištěné o předávací náklady

TO = tuhé odpady

TOV = toxické odpadní vody

$TPC_i$  = celkové produkční náklady na objem celkové produkce i-tého výrobního oboru

$tr_i$  = celkové příjmy z prodeje i-tého výrobního oboru

$TR_i$  = přidaná hodnota výnosů při konečném odbytu  $y_i$  vytvořená i-tým výrobním oborem

$TTO$  = toxické tuhé odpady

VLP = vícekriteriální lineární programování

$X$  = množina přípustných řešení

$x^*$  = optimální řešení

$x_i$  = celková produkce i-tého výrobního oboru na všechny obory

$X_i$  = celková produkce i-tého výrobního oboru

$x_{ij}$  = množství i-tého oboru na objem celkové produkce j-tého oboru

$X_n$  = zisk firmy z n-tého výrobního oboru bez vlivu ekologických charakteristik

$y_i$  = objem odbytu i-tého výrobního oboru



## Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst.3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne .....

.....  
jméno a příjmení studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

.....

## Seznam příloh

- 1) Úvodní strana modelu
- 2) Zadávací tabulka pro odpady, výrobní obory a jejich jednotky a limitní konstanty podniku XYZ
- 3) Strukturní model podniku XYZ v naturálních jednotkách
- 4) Tabulka jednotkových nákladů a výnosů podniku XYZ
- 5) Strukturní model podniku XYZ v peněžních jednotkách
- 6) Optimalizační model podniku XYZ formou matematického zápisu
- 7) Optimalizační model podniku XYZ v zápisu pro řešitele MS Excel
- 8) Výsledky optimalizace v podniku XYZ v číselném vyjádření
- 9) Výsledky optimalizace v podniku XYZ v grafickém vyjádření

## Příloha 1 - Úvodní strana modelu

<b>Ekologicko-ekonomický model</b>					
<b>Název společnosti:</b>	Podnik XYZ				
<b>Datum:</b>	29.4.2011				
<b>Data za období:</b>	2007				
<b>Odpovědná osoba:</b>	František Zapletal				
<b>Součásti modelu:</b>					
SM-naturalni-X	Strukturní model firmy v naturálních jednotkách kdy známe matici technických koeficientů a konečný odbyt a neznáme celkovou produkci.				
Výrobní obory a odpady	Seznam výrobních oborů modelu a produkovaných odpadů při výrobě.				
SM-naturalni-Y	Strukturní model firmy v naturálních jednotkách kdy známe matici technických koeficientů a celkovou produkci a neznáme výši odbytu.				
SM-finanční	Strukturní model firmy ve finančních jednotkách.				
LM-mat	Optimalizační model zapsaný pomocí rovnic. Neslouží pro vstupy dat. Všechny potřebné údaje jsou čerpány ze strukturního modelu a z uživatelsky vložených informací o oborech a odpadech.				
LM-OPT	Optimalizační model ve tvaru pro implementovaného řešitele MS Excel. Neslouží pro vstupy dat!				
LM-výsledky	Interpretuje a vizualizuje výsledky optimalizace.				
<b>Pokyny k použití:</b>					
Žluté buňky signalizují požadavek na číselná data od uživatele.					
Modré buňky signalizují požadavek na nečíselná data od uživatele.					
Bílé buňky obsahují vzorce pro automatické výpočty - zde uživatel nic nevyplňuje!					
Vyplňte vždy JEN JEDEN ze SM-naturálních modelů!					

**Příloha 2 - Zadávací tabulka pro odpady, výrobní obory a jejich jednotky a limitní konstanty podniku XYZ**

Podnik XYZ	Název		Jednotky	Výrobní kapacita
Výrobní obory	1	Surové železo	t	670000
	2	Bramy	t	900000
	3	Ingoty	t	40000
	4	Bloky	t	100000
	5	Plechý 4,5	t	100000
	6	Plechý 3,5	t	700000
	7	Profily	t	90000
	8	Výpalky	t	12000
				Limity
Ekologické charakteristiky	Emise	SO <sub>2</sub>	kg	2000000
		NO <sub>x</sub>	kg	2500000
		CO	kg	70000000
		popílek	kg	900000
	OV	TOV	m3	xxx
	TO	TTO	kg	xxx
		ostatní TO	kg	xxx

### Příloha 3 - Strukturní model podniku XYZ v naturálních jednotkách

Matice A			1	2	3	4	5	6	7	8				
1	0	0	0,74796	0,77604	0	0	0	0	0	0				
2	0	0	0	0	1,01279	0,2	1,15774	0	0	0				
3	0	0	0	0	0	0,76800	0	0	0	0				
4	0	0	0	0	0	0	0	1,05980	0	0				
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26694	0				
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1,15254	0				
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Podnik XYZ			Měrné jednotky	Výrobní spotřeba								celkem	KO	CP
				1	2	3	4	5	6	7	8			
Výrobní obory	1	0	t	0	622002,04	29799,948	0	0	0	0	0	651802	0	651802
	2	0	t	0	0	0	96601,936	9999,9784	704600,53	0	0	811202,4	20400	831602
	3	0	t	0	0	0	0	38399,917	0	0	0	38400	0	38400
	4	0	t	0	0	0	0	0	0	95382	0	95382	0	95382
	5	0	t	0	0	0	0	0	0	0	3149,892	3150	46850	50000
	6	0	t	0	0	0	0	0	0	0	13599,972	13600	595000	608600
	7	0	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90000	90000
	8	0	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11800	11800
Ekologické charakteristiky	Jednotkov é emise	SO <sub>2</sub>	kg	0,5787	0,1853	0,1329	0,1498	1,273	1,4193	1,1093	1,1117	5,96		
		NO <sub>x</sub>	kg	0,1983	0,7231	0,5482	0,5829	1,4728	1,6574	1,3968	1,5003	8,0798		
		CO	kg	10,7263	58,9362	45,7492	50,0721	0,5938	0,7334	0,6932	0,6777	168,1819		
		popílek	kg	0,5929	0,4302	0,4284	0,4401	0,0529	0,0601	0,0573	0,0589	2,1208		
	Emise na produkci	SO <sub>2</sub>	kg	377197,81	154095,93	5103,349	14288,224	63649,863	863785,94	99837	13118,06	1591076,2		
		NO <sub>x</sub>	kg	129252,33	601331,73	21050,835	55598,168	73639,841	1008693,6	125712	17703,54	2032982		
		CO	kg	6991423,7	49011488	1756765,5	4775977	29689,936	446347,22	62388	7996,86	63082076		
		popílek	kg	386453,4	357755,37	16450,524	41977,618	2644,9943	36576,858	5157	695,02	847710,79		
	OV/j	TOV	m3	23,374	21,262	18,225	19,135	4,943	6,172	5,721	5,481	104,313		
	TO/ j	TTO	kg	13,164	17,362	14,426	12,427	4,249	5,992	5,542	5,185	78,347		
ostatní TO		kg	121,821	108,721	100,015	105,721	26,622	30,216	28,925	29,148	551,189			

#### Příloha 4 - Tabulka jednotkových nákladů a výnosů podniku XYZ

Podnik XYZ	Výrobní náklady [tis. Kč]							
	Surové železo	Bramy	Ingoty	Bloky	Plechý 4,5	Plechý 3,5	Profily	Výpalky
Jednotkové předávací náklady	0,0000	5,8320	6,0509	9,0507	7,8590	10,3461	9,8320	19,2117
Σ ekologických nákladů	82222,4221	130098,8804	5130,3702	12880,6409	1592,1326	24116,1147	3316,7754	423,7706
Technologické palivo	0	196957	11704	0	49049	237667	47410	452
Mzdy a pojistné	0	110027	5081	4240	55304	139253	56830	9529
Odpisy	0	203566	12934	214	6400	213729	2617	2221
Opravy a udržování	0	287715	13285	0	26526	91000	29000	2474
Ostatní výrobní režie	0	428474	19719	4269	94687	479602	132115	6314
Ostatní náklady	5 000 000	1200000	0	0	53989	784079	164939	5724
Zmetky	0	31135	5268	0	-6674	-20896	-1636	-371
Okuje, kovert.plyn	0	-6283	-1891	0	0	0	0	0
Náklady bez předávacích celkem	5082222,42	2581689,88	71230,37	21603,64	280873,13	1948550,11	434591,78	26766,77
Jednotkové náklady	7,7972	8,9364	7,9059	9,2772	13,4765	13,5478	14,6608	21,4801
Prodejní cena (v tis. Kč; bez DPH)								
	Surové železo	Bramy	Ingoty	Bloky	Plechý 4,5	Plechý 3,5	Profily	Výpalky
Prodejní cena / jednotku	10	12	13,5	13	18,5	17,9	21	28
Ekologické náklady								
Polutant	SO2	NOX	CO	popílek	TOV	TTO	ostatní TO	
poplatek za jednotku odpadu	1	0,8	0,6	3	1	2,5	0,5	

## Příloha 5 - Strukturní model podniku XYZ v peněžních jednotkách

Podnik XYZ			Výrobní spotřeba [tis. Kč]								Příjmy z prodeje	Přidaná hodnota příjmů	Zisk	
			1	2	3	4	5	6	7	8				Náklady
Výrobní obory	1	Surové železo	0	4849866,63	232355,7906	0	0	0	0	0	5082222	0	6518020	1435797
	2	Bramy	0	0	0	299898,4	31044,6935	2187415,48	0	0	2581690	244800	3759209	1177519
	3	Ingoty	0	0	0	0	71230,3702	0	0	0	71230	0	220399	149169
	4	Bloky	0	0	0	0	0	0	21603,641	0	21604	0	80742,8	59139
	5	Plechý 4,5	0	0	0	0	0	0	0	17694,4389	280873	866725	286599	5726
	6	Plechý 3,5	0	0	0	0	0	0	0	43542,9317	1948550	10650500	2438733	490183
	7	Profily	0	0	0	0	0	0	0	0	434592	1890000	650034	215442
	8	Výpalky	0	0	0	0	0	0	0	0	26767	330400	28687,5	1921
Ekologické charakteristiky	Emise	SO2	377,1978	154,0959	5,1033	14,2882	63,6499	863,7859	99,8370	13,1181	1591,0762	13982425		3534897
		NOX	103,4019	481,0654	16,8407	44,4785	58,9119	806,9549	100,5696	14,1628	1626,3856			
		CO	4194,8542	29406,8928	1054,0593	2865,5862	17,8140	267,8083	37,4328	4,7981	37849,2458			
		popílek	1159,3602	1073,2661	49,3516	125,9329	7,9350	109,7306	15,4710	2,0851	2543,1324			
	TO	TOV	15235,2197	17681,5312	699,8385	1825,1346	247,1495	3756,2790	514,8900	64,6758	40024,7182			
		TTO	21450,8034	36095,7042	1384,8930	2963,2803	531,1239	9116,8276	1246,9500	152,9575	72942,5398			
		ostatní TO	39701,5850	45206,3248	1920,2839	5041,9402	665,5486	9194,7284	1301,6250	171,9732	103204,0089			
											259781,1068	Σ		

## Příloha 6 - Optimalizační model podniku XYZ formou matematického zápisu

ÚF	2,2028 $x_1$ + 1,4160 $x_2$ + 3,8846 $x_3$ + 0,6200 $x_4$ + 0,1145 $x_5$ + 0,8054 $x_6$ + 2,3938 $x_7$ + 0,1628 $x_8$ → max									
PVO dané poptávkou	1 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	651802	
	0 $x_1$ +	1 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	831602	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	1 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	38400	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	1 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	95382	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	1 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	50000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	1 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	608600	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	1 $x_7$ +	0 $x_8$ ≥	90000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	1 $x_8$ ≥	11800	
PVO dané výrobními kapacitami	1 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	1000000	
	0 $x_1$ +	1 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	900000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	1 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	40000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	1 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	100000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	1 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	100000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	1 $x_6$ +	0 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	700000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	1 $x_7$ +	0 $x_8$ ≤	90000	
	0 $x_1$ +	0 $x_2$ +	0 $x_3$ +	0 $x_4$ +	0 $x_5$ +	0 $x_6$ +	0 $x_7$ +	1 $x_8$ ≤	12000	
PVO dané emisními limity	0,579 $x_1$ +	0,185 $x_2$ +	0,133 $x_3$ +	0,15 $x_4$ +	1,273 $x_5$ +	1,419 $x_6$ +	1,109 $x_7$ +	1,1117 $x_8$ ≤	2000000	
	0,198 $x_1$ +	0,723 $x_2$ +	0,548 $x_3$ +	0,583 $x_4$ +	1,473 $x_5$ +	1,657 $x_6$ +	1,397 $x_7$ +	1,5003 $x_8$ ≤	2500000	
	10,73 $x_1$ +	58,94 $x_2$ +	45,75 $x_3$ +	50,07 $x_4$ +	0,594 $x_5$ +	0,733 $x_6$ +	0,693 $x_7$ +	0,6777 $x_8$ ≤	70000000	
	0,593 $x_1$ +	0,43 $x_2$ +	0,428 $x_3$ +	0,44 $x_4$ +	0,053 $x_5$ +	0,06 $x_6$ +	0,057 $x_7$ +	0,0589 $x_8$ ≤	900000	
Podmínky nezápornosti	$x_1$ ≥	0								
	$x_2$ ≥	0								
	$x_3$ ≥	0								
	$x_4$ ≥	0								
	$x_5$ ≥	0								
	$x_6$ ≥	0								
	$x_7$ ≥	0								
	$x_8$ ≥	0								



**Příloha 7 - Optimalizační model podniku XYZ v zápisu pro řešitele MS Excel**

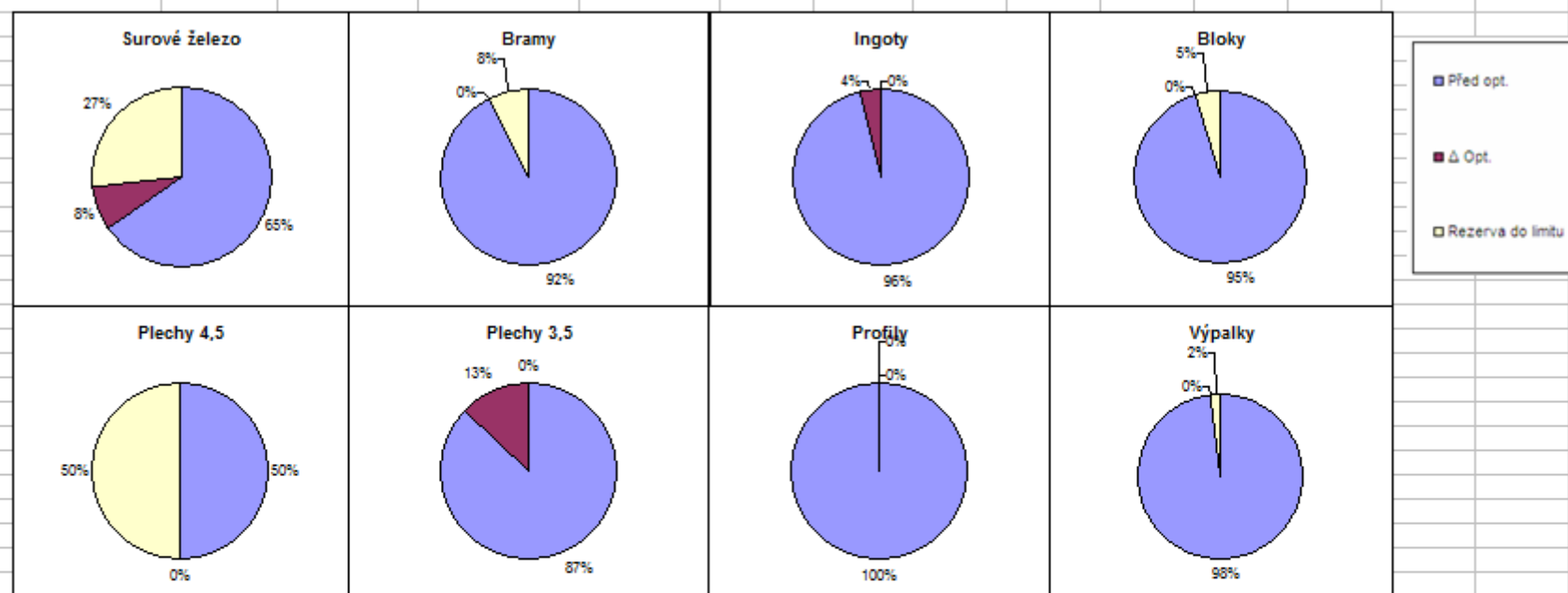
	Surové železo	Bramy	Ingoty	Bloky	Plechý 4,5	Plechý 3,5	Profily	Výpalky			
<b>Vektor x</b>	729573,276	831602,4	40000	95382	49999,892	700000	90000	11800			
									<b>zisk</b>		
ÚF:	2,2028	1,4160	3,8846	0,6200	0,1145	0,8054	2,3938	0,1628	3786044,232		
	Vektory koeficientů rovnic PVO (n)								<b>n·x</b>		Konstanty PVO
PVO dané poptávkou	1	0	0	0	0	0	0	0	729573,276		651802
	0	1	0	0	0	0	0	0	831602,4458		831602
	0	0	1	0	0	0	0	0	40000		38400
	0	0	0	1	0	0	0	0	95382		95382
	0	0	0	0	1	0	0	0	49999,892		50000
	0	0	0	0	0	1	0	0	700000		608600
	0	0	0	0	0	0	1	0	90000		90000
	0	0	0	0	0	0	0	1	11800		11800
PVO dané výrobními kapacitami	1	0	0	0	0	0	0	0	729573,276		1000000
	0	1	0	0	0	0	0	0	831602,4458		900000
	0	0	1	0	0	0	0	0	40000		40000
	0	0	0	1	0	0	0	0	95382		100000
	0	0	0	0	1	0	0	0	49999,892		100000
	0	0	0	0	0	1	0	0	700000		700000
	0	0	0	0	0	0	1	0	90000		90000
	0	0	0	0	0	0	0	1	11800		12000
PVO dané emisním	0,5787	0,1853	0,1329	0,1498	1,273	1,4193	1,1093	1,1117	1766019,134		2000000
	0,1983	0,7231	0,5482	0,5829	1,4728	1,6574	1,3968	1,5003	2200767,658		2500000
	10,7263	58,9362	45,7492	50,0721	0,5938	0,7334	0,6932	0,6777	64056509,73		70000000
	0,5929	0,4302	0,4284	0,4401	0,0529	0,0601	0,0573	0,0589	900000		900000

## Příloha 8 - Výsledky optimalizace v podniku XYZ v číselném vyjádření

Původní zisk (tis. Kč)	3534896,89						
Optim. zisk (tis. Kč)	3786044,23						
$\Delta$ Zisk (tis. Kč)	251147,34						
$\Delta$ Zisk (%)	7,10						
<b>Výrobní obory</b>	<b>Před Opt.</b>	<b>Po Opt.</b>	<b><math>\Delta x_i</math> (j)</b>	<b><math>\Delta x_i</math> (%)</b>	<b><math>\Delta</math> zisk z <math>x_i</math></b>	<b>% z kapacit</b>	
Surové železo	651801,99	729573,28	77771,29	11,93	171316	72,96	
Bramy	831602,45	831602,45	0,00	0,00	0	92,40	
Ingoty	38399,92	40000,00	1600,08	4,17	6216	100,00	
Bloky	95382,00	95382,00	0,00	0,00	0	95,38	
Plechý 4,5	49999,89	49999,89	0,00	0,00	0	50,00	
Plechý 3,5	608599,97	700000,00	91400,03	15,02	73616	100,00	
Profily	90000,00	90000,00	0,00	0,00	0	100,00	
Výpalky	11800,00	11800,00	0,00	0,00	0	98,33	
<b>Emise</b>	<b>Před Opt.</b>	<b>Po Opt.</b>	<b><math>\Delta s_i</math> (j)</b>	<b><math>\Delta s_i</math> (%)</b>	<b>% z limitu</b>		
SO <sub>2</sub>	1591076,18	1766019,13	174942,96	11,00	88,30		
NO <sub>x</sub>	2032982,04	2200767,66	167785,62	8,25	88,03		
CO	63082076,26	64056509,73	974433,47	1,54	91,51		
popílek	847710,79	900000,00	52289,21	6,17	100,00		

## Příloha 9 - Výsledky optimalizace v podniku XYZ v grafickém vyjádření

Grafické vyjádření využití výrobních kapacit před a po optimalizaci:



Grafické vyjádření využití emisních limitů před a po optimalizaci:

